

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo
hidrológico distribuído**

Bruno Collischonn

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Carlos Eduardo Morelli Tucci

Banca examinadora:

Prof. Dr. Oscar de Moraes Cordeiro Netto (UNB – Universidade de Brasília)

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira (IPH/UFRGS)

Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes (IPH/UFRGS)

Porto Alegre, março de 2006

O presente trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Carlos Eduardo Morelli Tucci da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Solvitur ambulando – caminhando se resolve

Provérbio latino

- Há outra coisa que uma educação acadêmica poderá proporcionar a você. Se você prosseguir nela por um tempo razoável, ela acabará lhe dando uma idéia das dimensões de sua mente. Do que ela comporta e, talvez, do que ela não comporta. Depois de algum tempo, você vai ter uma idéia do tipo de pensamento que sua mente deve abrigar. A vantagem disso é que talvez lhe poupe uma enormidade de tempo, que você perderia experimentando idéias que não se ajustam a você, não combinam com você. Você começará a conhecer as suas medidas exatas, e vestirá sua mente de acordo com elas.

J. D. Salinger – *O apanhador no campo de centeio*

Levantai-vos! Vamos!

Suas últimas palavras aos apóstolos

Agradecimentos

- ao IPH e ao seu programa de Pós-Graduação, em especial à bibliotecária Márcia e às secretárias do Pós, Nadir Solari e Márcia Feijó, pelo atendimento sempre gentil mesmo em meio a muito trabalho;

- a muitos professores, em especial ao prof. André Silveira e aos membros da comissão de pós-graduação, com quem pude interagir como representante discente, pelo apoio e sensibilidade às causas dos alunos;

- à UFRGS, minha segunda casa, e à sociedade brasileira, que me propiciou minha formação acadêmica;

- à CAPES, que viabilizou meus estudos com a bolsa de mestrado;

- a Clarissa Marquezan, pela dedicação;

- aos meus colegas da sala de projetos, em especial Adriano Rolim da Paz e Benedito Silva, pela assessoria em questões referentes ao MGB, Daniel Allasia e Adalberto Meller, por valiosas discussões, Christopher Souza por assistir à prévia e comentá-la e Martin Delgado e Juan Martin Bravo, colegas de estudo e grandes amigos;

- a Lidiane Gonçalves, pelo apoio, paciência e companheirismo em todas as horas e pela convivência nestes últimos meses;

- ao professor Carlos Tucci, pela experiência e oportunidades que me ofereceu e pelo entusiasmo que transmite pela hidrologia;

- ao professor Walter Collischonn, de quem posso me orgulhar de ser irmão, pela sugestão do tema e pela orientação técnica;

- por fim, mais do que tudo, aos meus pais, pelo incentivo ao estudo, e irmãos, exemplo bom e positivo.

ACKNOWLEDGEMENT*

The data used in this study were acquired as part of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). The algorithms were developed by the TRMM Science Team. The data were processed by the TRMM Science Data and Information System (TSDIS) and the TRMM Office; they are archived and distributed by the Goddard Distributed Active Archive Center. TRMM is an international project jointly sponsored by the Japan National Space Development Agency (NASDA) and the U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Office of Earth Sciences.

* Este reconhecimento é solicitado pela NASA's Earth Science Enterprise (ESE) quando do uso de dados do TRMM

Resumo

A precipitação é provavelmente a variável do ciclo hidrológico que apresenta a maior variabilidade espacial. Postos pluviométricos convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento. A baixa densidade de postos pluviométricos em bacias brasileiras tem sido o fator determinante nas incertezas dos resultados de diversos modelos hidrológicos que têm sido aplicados no país.

Nesse contexto, estimativas espaciais de precipitação podem constituir-se em uma ferramenta extremamente útil. Essas estimativas, embora pouco precisas quando comparadas com valores pontuais medidos no solo, fornecem uma boa noção da distribuição espacial das chuvas.

Neste trabalho, avalia-se em que medida as estimativas de precipitação obtidas a partir do satélite TRMM podem ser úteis quando usadas como dado de entrada do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH, sozinhas ou associadas com os dados da rede pluviométrica. Os resultados são analisados em termos de vazão simulada, considerando que esta representa a integração de todos os fenômenos hidrológicos na bacia.

Foram realizados estudos de caso na bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias, que conta com boa rede pluviométrica para aferir as estimativas, e na bacia do rio Tapajós, que possui baixa densidade de postos pluviométricos. O modelo alternativo, usado com estimativas de satélite, teve desempenho pouco inferior ou mesmo similar ao modelo convencional, usado com dados de pluviômetros. Além disso, os campos de precipitação obtidos por satélite são potenciais ferramentas para consistência de dados pluviométricos em escala de bacia hidrográfica e estimativa da precipitação em áreas com deficiente rede pluviométrica, considerando que os resultados obtidos pela rede e por satélites mostraram valores próximos.

Abstract

Precipitation is a component of the hydrologic cycle with large spatial variability. Conventional raingauges provide only punctual measurements, and extrapolation often is a source of uncertainties. Indeed, rain data scarcity is the main factor of uncertainties in hydrological modelling in Brazilian water basins.

Satellite precipitation estimates offer an alternative dataset that could be very useful. Although errors were reported when compared with punctual ground data, these estimates provide a good discrimination of rain and no-rain areas.

In this work, satellite estimates obtained from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) are evaluated as inputs to the large-scale rainfall-runoff model MGB-IPH. Furthermore, a technique to combine satellite estimates with ground data is also tested.

The model was applied to the São Francisco river basin, which presents a relatively good ground data coverage, allowing to evaluate precision of estimates. Furthermore, the model was applied to the Tapajós river basin, a tributary of the Amazon river, which is a region with very low coverage of raingauges. Results were compared with those obtained from simulation with conventional rain data, showing a very similar performance. Furthermore, rain fields derived from both data sources are compared, showing that satellite estimates can be a tool for identifying damaged or mismeasuring raingauges at a basin-wide scale.

Sumário

1.	Introdução	1
1.1.	Objetivo.....	3
1.2.	Justificativa	4
2.	O fenômeno da precipitação e sua mensuração tradicional	5
2.1.	Formação das nuvens e classificação das chuvas.....	5
2.2.	Medição e interpolação convencional de precipitação	11
3.	A estimativa de precipitação através de sensoriamento remoto por satélites.....	14
3.1.	Formação das imagens de satélites meteorológicos	14
3.2.	As imagens de satélite como ferramenta de medição de precipitação.....	17
3.2.1.	Técnicas baseadas no visível e infravermelho (VIS/IR).....	18
3.2.2.	Técnicas baseadas em imagens de microondas (MW).....	21
3.3.	Considerações sobre dispersão entre estimativas areais e pontuais.....	27
3.4.	O projeto TRMM e o produto 3B42.....	28
4.	Precipitação estimada por satélite em modelos hidrológicos.....	34
4.1.	Modelos hidrológicos para grandes bacias.....	34
4.2.	Uso das estimativas em simulação	36
5.	Metodologia	39
5.1.	Introdução	39
5.2.	Bacias analisadas.....	40
5.3.	Fontes de dados.....	41
5.4.	Procedimento de interpolação dos dados de precipitação	42
5.4.1.	Interpolação dos dados de pluviômetros.....	42
5.4.2.	Interpolação dos dados de precipitação estimados por satélite sobre as células do modelo	43
5.4.3.	Interpolação dos postos pluviométricos com base nas estimativas de satélite.....	43
5.5.	Testes preliminares	48
5.6.	Uso dos diferentes conjuntos no modelo.....	50
5.6.1.	O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH).....	50
5.6.2.	Verificação do modelo com parâmetros calibrados em período anterior.....	56
5.6.3.	Calibração do modelo com os diferentes conjuntos de dados	57
5.6.4.	Coefficientes de avaliação	58
6.	Aplicação na bacia do São Francisco até a Usina de Três Marias	60
6.1.	Caracterização da bacia.....	60
6.2.	Comparação entre dados de precipitação sobre a bacia	63
6.2.1.	Ajuste na distribuição temporal	63
6.2.2.	Comparação entre as precipitações médias	66
6.2.3.	Comparação entre os campos de precipitação	70
6.3.	Simulação na bacia do São Francisco	72
6.3.1.	Verificação do modelo ajustado em período anterior	74
6.3.2.	Recalibração do modelo com os diferentes conjuntos de dados de precipitação	77

7.	Aplicação na bacia do rio Tapajós	80
7.1.	Caracterização da bacia.....	80
7.2.	Tipos de solo na bacia.....	82
7.3.	Uso do solo	84
7.4.	Comparação entre dados de precipitação sobre a bacia do Tapajós.....	86
7.4.1.	Comparação entre as precipitações médias sobre a bacia.....	86
7.4.2.	Comparação entre os campos de precipitação	88
7.5.	A geologia do Tapajós e suas implicações na hidrologia.....	93
7.6.	Simulação na bacia do Tapajós	95
7.6.1.	Calibração com os diferentes conjuntos	101
7.7.	Análise de distorções nos parâmetros	110
8.	Conclusões e recomendações.....	112
8.1.	Conclusões	112
8.2.	Recomendações.....	117
9.	Bibliografia	122
	Anexo 1 - O formato de dados <i>Hierarchical Data Format</i> (HDF)	2
	Anexo 2 –Disponibilidade de dados fluviométricos na bacia do Tapajós	4
	Anexo 3 – Disponibilidade de dados pluviométricos na bacia do Tapajós	7
	anexo 4 – Parâmetros calibrados para o modelo MGB-PLU na bacia do São Francisco até Três Marias	10
	Anexo 5 - Parâmetros calibrados para o modelo MGB-SAT na bacia do São Francisco até Três Marias	12
	Anexo 6 – Parâmetros calibrados para o modelo MGB-MISTO na bacia do São Francisco até Três Marias	14
	Anexo 7 – Parâmetros calibrados para o modelo MGB-PLU na bacia do Tapajós.....	16
	Anexo 8 – Parâmetros calibrados para o modelo MGB-SAT na bacia do Tapajós.....	26
	Anexo 9 – Parâmetros calibrados para o modelo MGB-MISTO na bacia do Tapajós.....	36
	Anexo 10 – Código-fonte do programa para leitura de dados do TRMM.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 3. 1. Postos do programa de validação em campo (GV) do projeto TRMM e frequência com que são visitados por cada um dos principais instrumentos do TRMM.....	29
Tabela 6. 1. Totais anuais precipitados de acordo com o conjunto de dados e diferença relativa.....	68
Tabela 6. 2. Postos fluviométricos considerados na aplicação	72
Tabela 6. 3. Área e cobertura de cada um dos blocos de tipo e uso de solo na bacia do São Francisco até a UHE Três Marias	74
Tabela 6. 4. Valores dos coeficientes de avaliação da verificação na bacia no período de 1998 a 2004, com parâmetros ajustados para o período de 1977 a 1986.....	76
Tabela 6. 5. Valores dos coeficientes de avaliação resultantes da calibração dos modelos MGB-PLU, MGB-SAT e MGB-MISTO nas sub-bacias consideradas	78
Tabela 7. 1. Identificação dos postos em que houve diferenças significativas, precipitação média anual medida, precipitação média anual no <i>pixel</i> do TRMM onde o mesmo se encontra e diferença relativa, período de 1998 a 2004	90
Tabela 7. 2. Médias anuais no posto correspondente ao ponto 1	90
Tabela 7. 3. Postos fluviométricos considerados na simulação, com disponibilidade de dados e áreas de drenagem real e no modelo	95
Tabela 7. 4. Postos com problemas de localização ou área de drenagem no cadastro da ANA e correções efetuadas	98
Tabela 7. 5. Percentagem de cada bloco de tipo e uso de solo na bacia do Tapajós.....	100
Tabela 7. 6. Resumo dos coeficientes de avaliação das calibrações na bacia do Tapajós	109
Tabela 8. 1. Potencial de uso de dados do TRMM com alta resolução temporal de acordo com o tamanho da bacia.	120

Lista de figuras e fotos

Figura 2. 1. O processo de Bergeron. A escala das partículas está distorcida para visualização (Fonte: Lutgens e Tarbuck, 1989).....	7
Figura 2. 2. O processo de colisão-coalescência (fonte: Lutgens e Tarbuck, 1989).....	9
Figura 3. 1. Janelas e bandas espectrais (fonte: Kronberg, 1985, <i>apud</i> ENVI, 2005).....	15
Figura 3. 2. Tipos de órbita de satélites (Schultz e Engman, 2000).....	16
Figura 3. 3. Campos de probabilidade de ocorrência de chuva sobre o Reino Unido (linha tracejada) para quatro diferentes tipos de precipitação (adaptado de Cheng et al. 1993).....	21
Figura 3. 4. Ajuste entre medidas de radar em solo e estimativas de precipitação sobre o oceano por microondas a 19,35 GHz (a) e 37 GHz (b) (Fonte: Wilheit, 1986).....	22
Figura 3. 5. Estimativas teóricas de precipitação por microondas, de acordo com a espessura estimada da camada de gelo na nuvem (obtido de Wilheit, 1986).....	24
Figura 3. 6. Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI, varredura verde), radiômetro (VIRS, varredura amarela) e radar meteorológico (PR, varredura vermelha) do satélite TRMM (Adaptado de http://daac.gsfc.nasa.gov/).....	29
Figura 3. 7. Fluxograma de dados para geração de estimativas do projeto TRMM.....	31
Figura 3. 8. Taxa de precipitação estimada pelo TRMM sobre a bacia do São Francisco até a UHE Três Marias no período de 19:30 a 22:30 do dia 10/1/2003.....	32
Figura 4. 1. Bacias sul-americanas em que o modelo MGB-IPH foi aplicado.....	36
Figura 5. 1. Situações extremas que podem ocorrer em casos de baixa densidade de postos pluviométricos em uma bacia de médio ou grande porte (a) evento ocorrido em área na qual o pluviômetro se encontra, com conseqüente superestimativa da precipitação média; (b) evento ocorrido em área não controlada pelo pluviômetro, com conseqüente subestimativa da precipitação média sobre a bacia.....	39
Figura 5. 2. Situações possíveis de correlação entre precipitação medida em campo e precipitação estimada por satélite para um intervalo de tempo qualquer (a) coincidência dos valores (b) boa correlação entre os valores (c) nenhuma correlação entre os valores. Os pontos indicam a localização de postos pluviométricos e a escala de cores o volume precipitado estimado pelo satélite.	44
Figura 5. 3. Bacia com dados de precipitação estimados em células de 0.25x0.25° (escala de cores) e dados de pluviômetros em alguns locais.	46
Figura 5. 4. Diferenças entre estimativas de satélite e medições de campo nas células onde as últimas estão disponíveis.	46
Figura 5. 5. Distribuição interpolada das diferenças entre estimativas de satélite e medições de campo.....	47
Figura 5. 6. Campo de precipitação ajustado sobre a bacia.....	47
Figura 5. 7. Célula do modelo dividida em N blocos de uso, tipo e cobertura do solo.	51
Figura 6. 1. Contornos da bacia do São Francisco e da sub-bacia em estudo (em vermelho), inseridas no território nacional, com detalhe da hidrografia e postos fluviométricos da sub-bacia em estudo.....	60

Figura 6. 2. Modelo numérico de terreno da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias.....	61
Figura 6. 3. Mapa de solos da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias	62
Figura 6. 4. Mapa de uso do solo da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias.....	62
Figura 6. 5. Comparação entre a precipitação média obtida dos pluviômetros e estimada pelo TRMM, mostrando que o satélite estima com antecedência, período de 1/10/1998 a 30/3/1999.....	63
Figura 6. 6. Representação esquemática do processo de integração dos dados de precipitação de 3 em 3 horas do TRMM	64
Figura 6. 7. Correlação entre precipitação média dos pluviômetros e do TRMM considerando diferentes atrasos na integração	65
Figura 6. 8. Dispersão entre a chuva média estimada a partir dos pluviômetros e a partir do satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco, reta de ajuste (preto) e limites do intervalo de confiança da estimativa para um nível de 5% (cinza)	66
Figura 6. 9. Comparação entre a precipitação média sobre a bacia do São Francisco estimada a partir dos pluviômetros (preto) e a partir dos dados do TRMM (vermelho), período de 1/10/2003 a 30/4/2004.....	67
Figura 6. 10. Precipitação média acumulada sobre a bacia do São Francisco, período de 2/1/1998 a 30/11/2004 .	68
Figura 6. 11. Comparação entre totais precipitados mensais, período de janeiro de 1998 a novembro de 2004 ...	69
Figura 6. 12. Campo de erros relativos de volume entre precipitação acumulada do TRMM e acumulada dos pluviômetros, relativo ao período de 2/1/1998 a 30/11/2004.....	70
Figura 6. 13. Campo de correlação entre as séries de chuva interpolada dos pluviômetros e interpolada do TRMM de 2/1/1998 a 30/11/2004 sobre as células do modelo da bacia do São Francisco.	71
Figura 6. 14. Bacia do São Francisco discretizada em células e dividida em sub-bacias.....	73
Figura 6. 15. Blocos de uso e tipo de solo para simulação no modelo.....	73
Figura 6. 16. Verificação do modelo na UHE Três Marias no período de 1/7/1999 a 30/6/2000 com parâmetros calibrados por Silva (2005), otimizados para o período entre 1977 e 1986, usando dados de pluviômetros (vermelho) e de satélite (verde).....	75
Figura 6. 17. Verificação do modelo na UHE Três Marias no período de 1/7/1999 a 30/6/2000 com parâmetros calibrados por Silva (2005), otimizados para o período entre 1977 e 1986, usando o conjunto <i>PLU</i> (vermelho) e o conjunto <i>MISTO</i> (azul).....	76
Figura 6. 18. Resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT na UHE Três Marias, período de 1/9/1999 a 30/8/2001	77
Figura 6. 19. Resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO na UHE Três Marias, período de 1/9/1999 a 30/8/2001	78
Figura 7. 1. Localização da bacia do Tapajós no território brasileiro e detalhe da hidrografia da bacia.	80
Figura 7. 2. Modelo numérico de terreno da bacia do rio Tapajós	81
Figura 7. 3. Mapa de tipos de solo na bacia do Tapajós.....	83
Figura 7. 4. Mapa de usos do solo na bacia do Tapajós.....	85
Figura 7. 5. Dispersão entre a chuva média estimada a partir dos pluviômetros e a partir do satélite TRMM sobre a bacia do Tapajós, reta de ajuste (preto) e limites do intervalo de confiança da estimativa para um nível de 5% (cinza).....	86

Figura 7. 6. Precipitação média acumulada sobre a bacia do Tapajós, período de 2/1/1998 a 30/11/2004	87
Figura 7. 7. Comparação entre totais precipitados mensais, período de janeiro de 1998 a novembro de 2004	88
Figura 7. 8. Campo de diferenças relativas entre precipitação acumulada do conjunto SAT e acumulada do conjunto PLU, relativo ao período de 2/1/1998 a 30/11/2004, com pontos de diferenças maiores em destaque	89
Figura 7. 9. Mapa de isoietas de pluviosidade média anual gerado a partir de pluviômetros (a) e a partir dos pixels do TRMM (b), referente ao período de 1998 a 2004	91
Figura 7. 10. Campo de correlações entre as séries de chuva interpolada dos pluviômetros e interpolada do TRMM de 2/1/1998 a 30/11/2004 sobre as células do modelo da bacia do Tapajós.	92
Figura 7. 11. Mapa geológico indicando esquematicamente a distribuição das principais rochas-matriz dos solos brasileiros, situando o contorno da bacia do Tapajós. (adaptado Lepsch, 2002).	93
Figura 7. 12. Comparação entre os hidrogramas medidos nos postos Fazenda Tucunaré (17091000), com área de 4383 km ² (bacia situada sobre substrato sedimentar), e Cachimbo (17350000), com área de 1035 km ² (bacia situada sobre substrato ígneo), período de 1/1/1995 a 31/12/2001	94
Figura 7. 13. Rede de drenagem discretizada para o modelo e divisão sub-bacias consideradas.....	97
Figura 7. 14. Blocos de tipo e uso de solo na bacia do Tapajós.....	100
Figura 7. 15. Resultados da calibração dos três modelos considerando o coeficiente R ² . A cor do posto indica o modelo que obteve o melhor desempenho na sub-bacia correspondente: MGB-PLU (vermelho), MGB-SAT (verde) e MGB-MISTO (azul).....	101
Figura 7. 16. Hidrogramas resultantes da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT em Três Marias (17042000), no rio Teles Pires, área de 138.883 km ²	102
Figura 7. 17. Ajuste dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT no posto Fazenda Tombador, no rio do Sangue (17095000), área de 25.918 km ²	103
Figura 7. 18. Ajustes dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT nos postos de Fortaleza (17500000) e Acará do Tapajós (17650002).....	104
Figura 7. 19. Hidrogramas resultantes da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO em Três Marias (17042000), no rio Teles Pires, área de 138.883 km ²	105
Figura 7. 20. Resultados da calibração dos três modelos considerando o coeficiente R ² do logaritmo das vazões. A cor do posto indica o modelo que obteve o melhor desempenho na sub-bacia correspondente: MGB-PLU (vermelho), MGB-SAT (verde) e MGB-MISTO (azul).....	106
Figura 7. 21. Resultados da calibração dos três modelos considerando o erro porcentual de volume. Em vermelho as bacias onde houve erros significativos nos três modelos.	107
Figura 7. 22. Ajuste dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO no posto Estrada Cuiabá-Santarém (17360000), área de 11.200 km ²	108
Figura 8. 1. Erro nas coordenadas do posto Gleba Agrosan (17097000), situado no rio do Sangue.	115
Foto 7. 1. Degradação causada pelo garimpo no rio Peixoto de Azevedo (Margi Moss/Projeto Brasil das Águas: http://www.brasildasaguas.com.br/).	82

Lista de Símbolos

- A_i [-] coeficientes de ajuste do método de indexação de nuvens
- $B(T)$ [$W \cdot m^{-2} \cdot m^{-1}$] radiação emitida por um corpo negro
- c [$m \cdot s^{-1}$] velocidade de uma onda eletromagnética
- CS [-] parâmetro do modelo hidrológico que multiplica o tempo de concentração do escoamento superficial
- d_i [km] distância de um ponto sem dados ao ponto com dados i
- $Errv$ [%] erro de volume do total precipitado na célula
- f [Hz] frequência de oscilação da onda eletromagnética
- h [J.s] constante de Boltzmann
- K_{bas} [$mm \cdot dia^{-1}$] parâmetro de escoamento subterrâneo (drenagem muito lenta)
- K_{int} [$mm \cdot dia^{-1}$] parâmetro de escoamento sub-superficial (drenagem intermediária)
- P'_i [mm] desvio da precipitação média (termo de flutuação)
- PI [-] índice de precipitação
- P_i [mm] precipitação real em um ponto i
- \hat{P} [mm] precipitação interpolada na célula
- P_m [mm] precipitação média em um *pixel* no qual se encontra um pluviômetro
- P_{plu_i} [mm] precipitação interpolada a partir dos pluviômetros no intervalo de tempo i
- P_{sat_i} [mm] precipitação interpolada a partir da estimativa do satélite no intervalo de tempo i
- $Q_{calc}(t)$ [$m^3 \cdot s^{-1}$] Vazão calculada no intervalo de tempo t
- $Q_{obs}(t)$ [$m^3 \cdot s^{-1}$] Vazão observada no intervalo de tempo t

- R [-] coeficiente de correlação
- $R2$ [-] coeficiente de Nash-Suttcliffe (função-objetivo)
- $R2\log$ [-] coeficiente de Nash-Suttcliffe do logaritmo das vazões (função-objetivo)
- $S(TBB)$ [km^2] área de nuvens associada a uma determinada temperatura de brilho
- T [$^{\circ}\text{K}$] temperatura de brilho de um corpo negro
- T_0 [$^{\circ}\text{K}$] temperatura limite (*threshold temperature*) para delimitação de nuvens precipitantes
- TBB [$^{\circ}\text{K}$] temperatura de brilho de topo de nuvem
- w_i [-] ponderador para interpolação por médias móveis ponderadas
- $Z(x_i)$ [-] valor medido de uma variável qualquer no ponto x_i
- $\hat{Z}(x)$ [-] valor de uma variável qualquer em um ponto sem dados
- ΔV [-] erro de volume das vazões (função-objetivo)
- $\Phi(d)$ [-] ponderador, função da distância
- λ [m] comprimento de onda da radiação eletromagnética

Lista de abreviaturas

- ANA Agência Nacional de Águas
- ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica
- CCD *Cold Cloud Duration*
- CMORPH *Climate Prediction Center Morphing Technique*
- CODEVASF Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco
- CPTEC Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
- DMSP *Defense Meteorological Satellite Program*
- EUMETSAT *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellite*
- GEF *Global Environmental Fond*
- GOES *Geoestationary Operational Environmental System*
- GPCP *Global Precipitation Climatology Project*
- GPM *Global Precipitation Measurement*
- HDF *Hierarchical Data Format*
- HYBAM *Hydro-géodinamique actuelle du Bassin amazonian*
- IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IPH-MEN Modelo chuva-vazão de discretização mensal
- IR Banda do Infravermelho
- LARSIM *Large Area Runoff Simulation Model*
- LIS *TRMM Lightning Sensor and Imager*

- MGB-IPH Modelo de Grandes Bacias
- MNT Modelo Numérico do Terreno
- MW Banda de Microondas
- NASA *North-American Aerospace Agency*
- NCSA *National Center of Supercomputing Applications*
- NOAA *National Oceanic and Atmospheric Administration*
- OEA Organização dos Estados Americanos
- OMM Organização Meteorológica Mundial
- ORE *Observatoire de Recherche de l'Environnement*
- PCD Plataforma de Coleta de Dados
- PNUMA Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
- PR *TRMM Precipitation Radar*
- SSM/I *Special Sensor Microwave Imager*
- SVATS *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Scheme*
- TIROS *Television and Infrared Observation Satellite*
- TMI *TRMM Microwave Imager*
- TRMM *Tropical Rainfall Measuring Mission*
- TRMM *Tropical Rainfall Measuring Mission*
- UHE Usina Hidrelétrica
- USGS *United States Geological Survey*
- VIC-2L *Two-Layer Variable Infiltration Capacity Model*

- VIS Banda da luz visível
- ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. Introdução

Para um desenvolvimento econômico e social adequado e sustentável, é necessária a estimativa da disponibilidade e demanda da água no tempo e no espaço. Devido à escassez de informações hidrológicas em países em desenvolvimento, o modelo hidrológico é uma ferramenta essencial para determinar as variáveis do ciclo hidrológico que fazem parte da gestão dos recursos hídricos.

Os modelos hidrológicos se valem do fato de que séries de chuva são mais extensas e possuem maior cobertura espacial do que séries de vazões para estender e gerar estas últimas. Ainda assim, existem casos em que os dados de precipitação não estão disponíveis na quantidade e na qualidade necessária para que simulações confiáveis possam ser efetuadas. Simulações de chuva-vazão por vezes têm apresentado resultados inadequados, como citados em ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004) e Collischonn (2001), menos devido a heterogeneidades nas características físicas das bacias e em maior escala devido à má representação espacial das precipitações.

O Modelo de Grandes Bacias ou MGB (Collischonn, 2001) foi desenvolvido com base nos modelos VIC-2L e LARSIM, que buscam preencher o espaço intermediário entre os modelos de transformação chuva-vazão, adaptados para pequenas bacias, e os modelos de circulação global, de grande escala. O modelo tem sido usado para previsão hidrológica, estudo de disponibilidade hídrica, gerenciamento de recursos hídricos e, em menor escala, avaliação de impactos de mudança de uso do solo e mudanças climáticas.

Por outro lado, a precipitação nos trópicos é um elemento importante do ciclo hidrológico e da vida e bem-estar dos seres humanos. Três quartos da energia que comanda a circulação atmosférica provêm do calor latente originado da precipitação tropical. Infelizmente, a chuva é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de medir, por causa da sua grande variação no espaço e no tempo. Os padrões de precipitação nos trópicos oscilam fortemente entre secas severas e cheias ocasionais. Mesmo assim, freqüentemente, as chuvas não duram mais do que algumas poucas horas por evento. No que diz respeito ao “aquecimento global”, os vários modelos de grande escala têm diferido entre si na magnitude prevista de aquecimento, distribuição e volume de precipitação tropical, bem como nos efeitos regionais dessas alterações na temperatura e umidade. Estimativas precisas de precipitação tropical são extremamente necessárias para validar e ganhar confiança nesses tipos de modelos (Kummerow et al. 2000).

Pluviômetros espalhados pela superfície terrestre coletam informações precisas da precipitação somente para uma pequena área localizada no entorno do dispositivo. O monitoramento detalhado sobre extensas áreas exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, o que, em certos casos, é inviabilizado em áreas de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (de Angelis, 2005).

Com isso, consegue-se continuidade apenas temporal das medições, dada a impossibilidade de se dispor de aparelhos de medição sobre toda a superfície a ser observada, de onde vem a necessidade de extrapolação ou interpolação para toda a área. Mesmo a continuidade temporal é comprometida freqüentemente por erros, falta de pagamento dos medidores ou falta de manutenção (Conti, 2002).

Com a prática de extrapolação/interpolação, admite-se uma estimativa de precipitação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação verdadeiramente ocorrida (Conti, 2002).

Modelar a distribuição do volume precipitado com informações pontuais freqüentemente induz a erros. A distância entre estações é grande (às vezes superior a 100 km). No caso de bacias transfronteiriças, a informação de precipitação é limitada em países vizinhos, e no caso de precipitação sobre mares e oceanos, a informação é praticamente indisponível (Struzik, 2003). De fato, nos países vizinhos do Brasil, como Bolívia e Peru, a quantidade de dados é muito reduzida, comprometendo a quantificação da precipitação. Há, ainda, barreiras de ordem diplomática. Em países africanos, após a independência em meados do século XX, os serviços meteorológicos passaram a cobrar taxas proibitivas pela cessão de dados pluviométricos (Nicholson, 2005). O resultado das restrições apresentadas é que o volume precipitado não é corretamente representado espacialmente quando da ocorrência de eventos de chuva (Struzik, 2003).

Os radares meteorológicos poderiam se constituir em uma solução para esse problema. Seu uso é amplamente difundido em países desenvolvidos, porém extremamente restrito no país, estando localizados próximos a grandes centros urbanos, como São Paulo, Curitiba e Fortaleza. Nesses, os problemas de drenagem em pequenas bacias urbanas e a ocorrência freqüente de fenômenos convectivos de grande intensidade justificam o investimento em um radar. Como a área de abrangência desses radares é limitada (cerca de 180km), nenhum deles esteve ligado a projetos de simulação ou previsão de vazões em bacias de maior porte.

Segundo Conti (2002), o emprego rotineiro de técnicas de sensoriamento remoto para estimativas de precipitação ainda é raro, estando restrito aos países desenvolvidos, notadamente os EUA. Essa ausência no Brasil deve-se ao geral desconhecimento das possibilidades do sensoriamento remoto para estimativas de precipitação, a pequena difusão na sociedade das imagens de satélite e pela ausência de técnicas adaptadas às diversas condições climatológicas existentes no país.

Diversas metodologias para estimativa de precipitação por meio de imagens de satélite vêm sendo propostas. Essas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Destacam-se os satélites da série GOES (*Geostationary Operational Environmental System*) e o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), este último com o objetivo específico de medição de precipitação nos trópicos.

Como a precipitação é a variável determinante da qualidade de um modelo hidrológico e o sensoriamento remoto parece dar uma contribuição importante na representação da distribuição temporal de eventos de chuva, surge um espaço para pesquisa científica em hidrologia, ou seja, procurar assimilar as estimativas de satélite no âmbito de um modelo hidrológico robusto, de forma a diminuir incertezas e a ganhar confiança nos resultados do mesmo.

1.1. Objetivo

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade de estimativas de precipitação por satélite no contexto de simulação hidrológica chuva-vazão

São três os objetivos específicos deste trabalho:

- avaliar as estimativas de precipitação do satélite TRMM em bacias hidrográficas brasileiras;
- verificar se as estimativas de precipitação desse satélite podem ser usadas como dado de entrada do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH, aplicado a bacias brasileiras;
- verificar se as estimativas de precipitação do TRMM podem aperfeiçoar a representação da distribuição espacial das chuvas, de forma a melhorar os resultados do modelo hidrológico utilizado.

1.2. Justificativa

As razões para se avaliar o uso de chuva estimada por satélite como dado de entrada para modelos hidrológicos são as seguintes:

- no Brasil, existem várias bacias de grande porte, as quais são quase sempre caracterizadas por escassez de postos pluviométricos;
- regiões dessas bacias são, em boa parte, de difícil acesso, impossibilitando a medição de chuva ou mesmo a instalação de instrumentos;
- o país não dispõe de uma rede densa de radares meteorológicos, que seria uma forma alternativa de obter boas estimativas da distribuição espacial da chuva.

Embora os valores de intensidade e lâmina precipitada estimados pelos diversos satélites ainda não sejam adequadamente validados pelos valores pontuais medidos em campo, a grande vantagem das técnicas de estimativa de precipitação por imagens de satélite é a excelente cobertura da distribuição espacial da chuva fornecida pelo satélite. Em uma área com alguns pluviômetros instalados, poderiam ser feitas correções nas estimativas de chuva por satélite, baseadas nas medições em terra.

A hipótese norteadora do trabalho é a de que um modelo hidrológico usando chuva estimada por satélite forneça resultados similares ou mesmo melhores do que o modelo usando precipitação de pluviômetros, em termos de vazão simulada.

2. O fenômeno da precipitação e sua mensuração tradicional

2.1. Formação das nuvens e classificação das chuvas

A precipitação é uma das mais importantes variáveis climáticas na determinação de balanços hídricos, uma vez que ela é a fonte predominante de água da parcela terrestre do ciclo hidrológico (Fekete et al. 2003). A física de formação das chuvas e sua classificação, apesar de serem relativamente bem conhecidas, são apresentadas a seguir, pois seu conhecimento é importante para a correta interpretação de alguns resultados deste trabalho.

As nuvens são agregados visíveis de gotículas minúsculas de água ou diminutos cristais de gelo. As nuvens são classificadas de acordo com dois critérios distintos (Lutgens e Tarbuck, 1989). Com relação à **aparência**, três tipos básicos de nuvens são reconhecidos:

- *Cirrus*: são nuvens de grande altitude, de pequena espessura e cor branca. São desagregadas ou separadas, formando uma espécie de fibras alongadas, de aspecto frágil;
- *Cumulus*: são massas globulares individuais, com a base plana e o aspecto de torres ou cúpulas;
- *Stratus*: são camadas extensas que cobrem todo o céu. Embora possam haver interrupções, não se distinguem unidades individuais.

Todas as outras nuvens são fruto de variações ou combinações destas três formas básicas.

Com relação ao segundo critério, a **altitude**, as nuvens podem ser classificadas em três tipos principais:

- nuvens altas: acima de 6.000m. Por causa da sua baixa temperatura e baixo teor de vapor d'água, são nuvens brancas e finas, formadas principalmente por cristais de gelo;
- nuvens médias: entre 2.000m e 6.000m;
- nuvens baixas: com altitude inferior a 2.000m. Pelo fato de haver muito mais vapor em baixas altitudes, as nuvens baixas e médias são mais densas e escuras.

Esses limites não são rígidos, variando conforme a latitude e a época do ano.

Algumas nuvens não se encaixam em nenhuma das três categorias listadas sob o segundo critério. Estas têm sua base na faixa das nuvens baixas e se estendem verticalmente para além dos limites de nuvens médias ou altas. Assim, passam a ser denominadas nuvens de desenvolvimento vertical. São nuvens ligadas umas às outras e associadas a instabilidades no ar. Nuvens tipo *cumulus*, por exemplo, apesar de estarem normalmente ligadas a tempo bom, podem, sob determinadas circunstâncias, crescer dramaticamente. Uma vez que o movimento ascendente é iniciado, ocorre forte aceleração, e nuvens com grande extensão vertical se formam. A continuidade desse processo acaba por gerar *cumulonimbus*, nuvens precipitantes de grande extensão vertical.

Todos os tipos de nuvens são formados por condensação de vapor d'água presente no ar. Para que isso ocorra, primeiramente o ar deve estar saturado. Isto pode se dar por meio de diminuição da temperatura até abaixo do ponto de orvalho, o que mais comumente ocorre, ou por adição de vapor d'água ao ar. Em segundo lugar, deve existir uma superfície sobre a qual o vapor pode condensar. Essas superfícies, tais como partículas de poeira, sal e material fino em suspensão, existem em profusão na atmosfera e são denominadas núcleos de condensação.

Iniciada a condensação, a gotícula cresce a uma taxa relativamente alta, porém o crescimento rapidamente é interrompido devido ao fato de que o vapor é consumido pelas gotículas concorrentes. O resultado é a formação de uma nuvem constituída de bilhões de diminutas gotas de água, tão pequenas que permanecem suspensas no ar (o diâmetro típico é inferior a 20 μm). Mesmo em ar muito úmido, o crescimento dessas gotículas por condensação adicional é lento. A formação de um pingo de chuva requer a aglutinação cerca de um milhão de gotículas como essas. A aglutinação pode se dar através de dois processos: o processo de Bergeron e o processo de colisão-coalescência.

Processo de Bergeron: Em nuvens frias, as gotículas de água suspensas no ar podem se encontrar no estado líquido mesmo em temperaturas inferiores a 0°C. Em contato com determinadas partículas sólidas, denominadas núcleos de congelamento, estas gotículas se solidificam. Núcleos de congelamento são partículas cuja forma é similar à de cristais de gelo, e, ao contrário dos núcleos de condensação, são pouco abundantes na atmosfera.

O aspecto fundamental do processo de Bergeron é o fato que a pressão de vapor sobre cristais de gelo é muito menor do que sobre gotículas frias (temperatura inferior a 0°C), uma vez que em cristais de gelo as moléculas têm ligações mais fortes do que as existentes em gotículas de água. Como resultado, a migração de moléculas das gotículas para os cristais é mais intensa do que

no sentido contrário. Como consequência, quando o ar está saturado (umidade relativa de 100%) com relação a gotículas líquidas, está supersaturado com relação a cristais de gelo. Estes passam a crescer à medida que incorporam mais moléculas de água, provenientes da evaporação das gotículas.

Como o grau de saturação do gelo pode ser bastante alto, o crescimento dos cristais é geralmente rápido, criando cristais grandes o suficiente para precipitarem. Durante seu percurso descendente os cristais aumentam à medida que interceptam outras gotículas. O movimento do ar acaba por romper alguns dos cristais, produzindo novos núcleos de congelamento, acarretando num processo em cadeia que acaba por formar cristais maiores, os flocos de neve. Segundo Bertoni e Tucci (1993), esse processo é típico de precipitação em regiões frias, porém Lutgens e Tarbuck (1989) afirmam que mesmo chuvas de verão podem se iniciar com formação de neve nas nuvens.

A Figura 2. 1 mostra uma seqüência do processo de Bergeron.

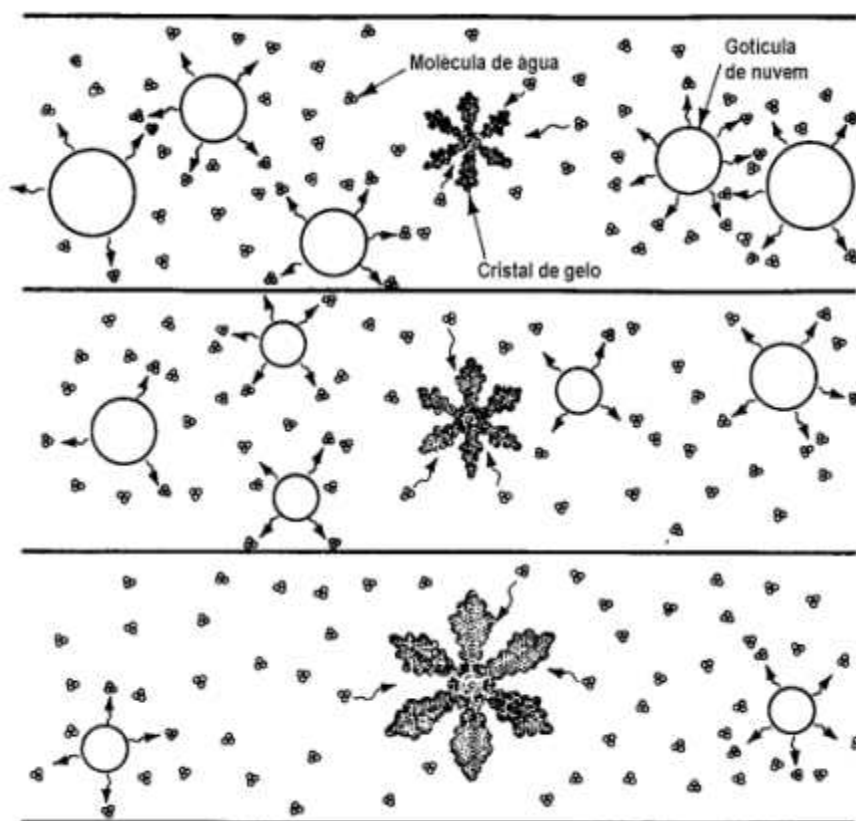


Figura 2. 1. O processo de Bergeron. A escala das partículas está distorcida para visualização (Fonte: Lutgens e Tarbuck, 1989).

Colisão-coalescência: até meados do século XX, os meteorologistas acreditavam que o processo de Bergeron era responsável pela formação de quase toda precipitação, exceto chuviscos leves. Mais tarde, descobriu-se que chuvas intensas podem estar associadas a nuvens quentes, com temperaturas acima de 0°C. Assim, foi proposto um segundo mecanismo de geração de precipitação.

Nuvens constituídas unicamente por gotículas líquidas devem possuir gotas com tamanho superior a 20 micrômetros para que se forme a precipitação. Essas gotículas maiores se formam quando núcleos de condensação “gigantes” estão presentes, bem como partículas higroscópicas, tais como sais marinhos. Partículas higroscópicas podem retirar umidade do ar mesmo a umidades inferiores a 100%, e podem aumentar muito de tamanho. Essas partículas “gigantes” caem mais rapidamente (ou ascendem mais lentamente, no caso de fluxos ascendentes de ar), e passam a colidir com gotículas, aumentando sua taxa de crescimento. Por fim, a gota é grande o suficiente para cair até a superfície terrestre sem evaporar por completo. Dado o número de colisões necessário para formar uma gota de chuva, gotículas em nuvens de desenvolvimento vertical têm uma maior chance de atingir o tamanho para precipitar. Fluxos ascendentes também contribuem para o processo porque permitem às gotículas cruzarem repetidamente a nuvem. Além disso, o arraste devido à velocidade de queda pode acabar superando a tensão superficial da água, rompendo a gota e produzindo numerosas gotas menores, as quais começam o processo novamente.

É importante notar que a colisão por si só não produz coalescência. Experimentos têm indicado que a presença de eletrostática na atmosfera deve ser a chave para a manutenção da coesão das gotas uma vez que elas colidem. A Figura 2. 2 mostra a seqüência do processo de colisão-coalescência.

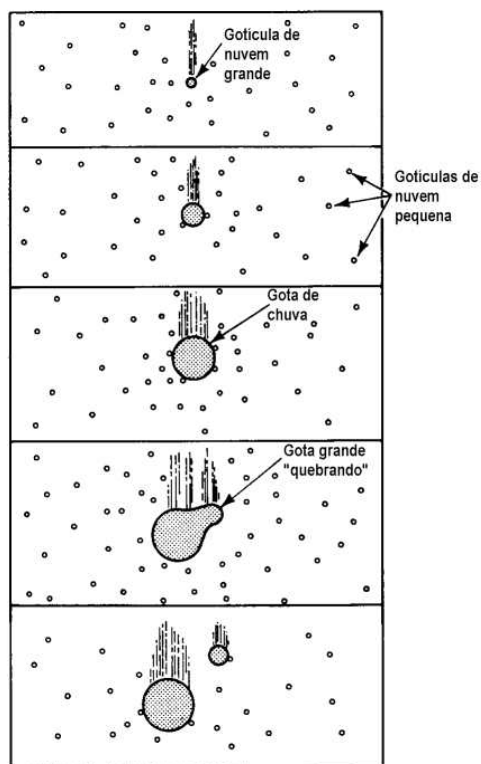


Figura 2. 2. O processo de colisão-coalescência (fonte: Lutgens e Tarbuck, 1989)

A estrutura de sistemas de nuvens precipitantes pode ser caracterizada pela dominância relativa de mecanismos convectivos e estratiformes de precipitação. Esses dois mecanismos básicos de precipitação diferem no tempo de crescimento das partículas precipitantes e na magnitude da movimentação vertical de ar associada com as nuvens precipitantes (Smith, 1993).

Precipitação convectiva: apresenta movimento vertical intenso, com o crescimento das partículas na base das nuvens, sendo o tempo para desenvolvimento da precipitação bastante curto (aproximadamente 45 min).

As tempestades em latitudes médias são fenômenos predominantemente convectivos, marcados pela organização de células precipitantes. Segundo Bertoni e Tucci (1993), quando o ar úmido se aquece na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. Perturbado o equilíbrio, forma-se uma brusca ascensão local de ar menos denso que atingirá seu nível de condensação com formação de nuvens e precipitações. Segundo Smith (1993), esse processo isoladamente não é capaz de produzir precipitações intensas sobre grandes áreas. No entanto, a estruturação e organização de vários processos convectivos simultâneos em áreas próximas pode dar origem a sistemas convectivos de mesoescala (*Mesoscale Convective Systems* ou

MCS), estes sim capazes de produzir chuvas mais intensas. Chuvas convectivas ocorrem predominantemente em baixas latitudes, bem como no verão de regiões temperadas.

Precipitação estratiforme: também denominada precipitação frontal ou ciclônica. Nesse caso, o movimento vertical é pouco intenso, as partículas se formam próximo do topo nas nuvens e o tempo necessário para o desenvolvimento pode ser bastante longo (ordem de horas).

A circulação atmosférica é regida por massas e fluxos de ar que normalmente se movem de forma estável e bem definida. A temperatura e umidade de massas de ar dependem fortemente da região onde se formaram, de forma que massas continentais polares são frias e secas, enquanto massas tropicais oceânicas são quentes e úmidas. Em regiões intermediárias, podem ocorrer ambos os tipos de massas.

Duas massas ou fluxos se movendo paralelamente, porém possuindo temperaturas distintas, podem acabar sendo unidas por instabilidades em sua interface, as quais se intensificam à medida que as massas de ar se misturam. O ar mais quente e leve se sobrepõe ao ar denso e frio, formando frentes caracterizadas por altos gradientes de temperatura, pressão e, geralmente, umidade. Uma frente fria ocorre quando ar frio encontra ar quente em baixa velocidade e se move sob o mesmo, enquanto que uma frente quente ocorre quando ar quente em movimento se sobrepõe a ar mais frio e lento (Smith, 1993). A impulsão desse ar quente para cima resulta em seu resfriamento na condensação do vapor d'água, de forma a produzir chuvas.

Precipitação orográfica: um terceiro mecanismo, que pode ter tanto componentes estratiformes quanto convectivos, é produzido por elevação orográfica de massas de ar sobre montanhas ou colinas, resultando na condensação do vapor e na ocorrência de chuvas de pequena intensidade e longa duração.

Petty (1995) assinala ainda uma diferença importante entre sistemas convectivos, por um lado, e precipitações orográficas, por outro: os primeiros são marcados pela existência de cristais de gelo na camada mais superior das nuvens, enquanto as denominadas “chuvas quentes” não apresentam essa característica. Essa diferenciação é fundamental para a discriminação de nuvens precipitantes por sistemas de sensoriamento remoto.

2.2. Medição e interpolação convencional de precipitação

Convencionalmente, a forma mais utilizada para se obterem dados de precipitação é a construção e a manutenção de uma rede de postos pluviométricos localizados em posições geográficas específicas. Os dados de precipitação de postos pluviométricos são colhidos periodicamente para posterior verificação quantitativa da precipitação nesses postos. Esses dados são pontuais e suscetíveis a uma série de fatores naturais inerentes à localidade do posto, além da influência antrópica na mensuração e na manipulação dos dados obtidos (Conti, 2002).

Os radares meteorológicos no solo oferecem estimativas espaciais da precipitação sobre grandes áreas e em tempo aproximadamente real. Nestes, a taxa de precipitação em um determinado ponto é correlacionada à intensidade de um sinal de retorno irradiado pelas gotas de chuva e a distância do ponto ao radar é correlacionada ao tempo de retorno do sinal.

Pereira Filho et al. (2002) afirmam que o número desses aparelhos está aumentando no Brasil, com a instalação de 10 radares na bacia amazônica, pertencentes ao Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM). Ainda assim, esses cobrem apenas uma fração da bacia. Para cobrir todo país, um número de 140 radares seria necessário, um investimento que uma nação em desenvolvimento só pode fazer a longo prazo (Pereira Filho et al, 2002).

Calvetti et al. (2003) apontam ainda uma série de limitações das estimativas feitas por radares. Em aplicações feitas com o uso de dados do radar situado em Curitiba, verificou-se subestimativa da precipitação por atenuação do sinal devido à distância. Barreiras físicas, como irregularidades na topografia, também interferem. Além disso, Conti (2002) alerta para o fato de que o radar deve ser calibrado periodicamente com dados conhecidos de precipitação, necessitando ser acompanhado por postos pluviométricos convencionais.

As avaliações feitas em hidrologia ocorrem usualmente em termos de bacias hidrográficas, ou seja, área de grande extensão territorial, sendo a precipitação um dos principais insumos. No entanto, o grande dilema consiste em como extrapolar/interpolar de forma satisfatória a precipitação a partir dos dados pontuais dos pluviômetros.

Conti (2002) assinala três métodos consagrados pela prática para a obtenção da precipitação sobre toda uma área a partir de pluviômetros distribuídos sobre a mesma. Esses métodos são o método da média aritmética, o método de Thiessen e o método das isoietas. O mesmo autor afirma

que os dois últimos são mais apropriados, pois o método da média aritmética é válido apenas para bacias pequenas com pouca variação pluviométrica, ou bacias com ampla cobertura de postos.

Já o método de Thiessen se baseia na idéia, intuitivamente aceita por todos que manipulam dados climáticos, de que, na falta de informações em um determinado ponto, usam-se as informações do ponto mais próximo onde estejam disponíveis (Burrough, 1986). O método divide uma região de acordo com a configuração dos locais com dados, atribuindo a cada um deles uma fração da área total. Sua principal limitação é o caráter não-contínuo do método, de forma que se criam fronteiras abruptas entre polígonos adjacentes, reduzindo a similaridade com a realidade física da precipitação. A difusão mais ampla desta técnica no passado se devia ao fato de ser um método bastante gráfico (muito embora possa ser implementado computacionalmente). O método das isoietas, como descrito em Bertoni e Tucci (1993), também é um método gráfico, embora a idéia de variação gradual contida no mesmo seja a base de métodos mais adequados, usados atualmente.

Esses métodos foram bastante adequados na utilização dos primeiros modelos hidrológicos a serem desenvolvidos, de caráter concentrado. Nesses, a adoção de um valor único ponderado de precipitação sobre a bacia era suficiente, dada a ordem de grandeza das bacias simuladas. Entretanto, o desenvolvimento de modelos distribuídos de grandes bacias passou a exigir uma discretização espacial maior das chuvas.

Nos anos recentes, com o desenvolvimento dos computadores, têm ganhado espaço as técnicas que embutem idéias de variação gradual da precipitação, em que a distribuição espacial é representada por superfícies matemáticas. O método das médias móveis ponderadas (Burrough, 1986) considera que o valor de uma variável Z em um ponto sem dados x é obtido de médias dos pontos com dados mais próximos e que a contribuição de cada um desses é ponderada por uma função da sua distância ao ponto sem dados, conforme abaixo:

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z(x_{ii}) \quad \sum w_i = 1 \quad (\text{eq. 2.1})$$

onde $\hat{Z}(x)$ é o valor interpolado de Z no ponto sem dados, w_i é um ponderador, dado por $\Phi(d(x, x_i))$ e $Z(x_i)$ é o valor medido de Z no ponto x_i .

Um requisito desse método é que $\Phi(d) \rightarrow 1$ quando $d \rightarrow 0$. Provavelmente, a forma mais comum de $\Phi(d)$ seja a ponderação pelo inverso do quadrado da distância:

$$\hat{Z}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) \cdot d_{ij}^{-2}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-2}} \quad (\text{eq. 2.2})$$

Nas aplicações recentes do modelo hidrológico distribuído MGB-IPH, como em Collischonn (2001), ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004), ONS (2005a, 2005b), entre outros, tem sido usado o método do inverso do quadrado da distância para gerar uma malha (*grid*) de precipitação sobre a área considerada.

Uma corrente da hidrologia tem adotado a técnica de *kriging* ou interpolação ótima (Burrough, 1986) para produzir *grids* de precipitação sobre bacias hidrográficas. São os casos dos trabalhos de Villa et al. (2005) e Barrera (2005). Esse método se baseia na evidência de que a variação espacial de qualquer propriedade hidrológica é por demais irregular para ser representada por uma função matemática contínua, sendo melhor descrita por uma superfície estocástica. Esse processo de interpolação inicialmente explora os aspectos estocásticos da variável considerada e só então a modela. A informação resultante é então usada para estimar os ponderadores da interpolação.

A razão pela qual se tem feito uso desse método em hidrologia é a possibilidade de modelar variáveis anisotrópicas, que variam de forma diferente em diferentes direções. No caso da precipitação, pode-se tirar proveito do conhecimento de direções preferenciais da precipitação, a partir de informações sobre a topografia ou direção dos ventos, por exemplo. Mais detalhes do método podem ser encontrados em Burrough (1986).

No entanto, pelo fato de os métodos de média ponderada serem essencialmente técnicas de suavização, máximos e mínimos na superfície interpolada podem ocorrer somente em pontos com dados (Burrough, 1986). O mesmo ocorre com a técnica de *kriging*. Essa característica é uma importante limitação desses métodos, pois impede que as precipitações pontuais mais intensas em uma área sejam representadas a menos que o pluviômetro se encontre nos pontos correspondentes. Essa é a lacuna que a medição de precipitação por sensoriamento remoto, inicialmente por meio de radares e mais recentemente de satélites, busca preencher.

3. A estimativa de precipitação através de sensoriamento remoto por satélites

3.1. Formação das imagens de satélites meteorológicos

A literatura oferece diversas definições para sensoriamento remoto. Apenas para citar uma definição mais abrangente, “o sensoriamento remoto (SR) é definido como sendo a ciência e arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através de análises de dados adquiridos por um sensor que não está em contato direto com o objeto de investigação (Ritchie e Rango, 1996, *apud* Schultz e Engman, 2000). Mendes (1990) considera essa definição muito ampla, preferindo defini-lo como sendo a utilização conjunta de sensores, a bordo de aeronaves ou espaçonaves, equipamentos para transmissão dos dados coletados pelos sensores e equipamentos para processamento dos mesmos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio das interações entre energia eletromagnética e os elementos que compõem a superfície da terra e a atmosfera.

A grandeza usualmente medida por instrumentos de sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética. Essa grandeza é caracterizada por propagar-se independentemente do meio, ou seja, pode se propagar no vácuo. Nesse caso, sua velocidade é de $300.000 \text{ km.s}^{-1}$, e suas características principais (frequência e comprimento de onda), relacionam-se por meio da equação:

$$V = \lambda \cdot f \quad (\text{eq. 3.1})$$

onde V é a velocidade da luz no vácuo (3.10^8 m s^{-1}), λ é o comprimento de onda da radiação eletromagnética (m) e f = frequência da onda (Hz).

A principal fonte da radiação eletromagnética que atinge a terra é o sol. Este emite radiação em comprimentos de onda que podem variar de 10^{-12} a 10^4 m. Este intervalo de variação do comprimento de onda pode ser considerado contínuo, constituindo o denominado espectro eletromagnético.

Ao incidir no topo da atmosfera, no entanto, determinados comprimentos de onda são bloqueados devido à presença de vapor d'água, aerossóis e outros gases. A porcentagem de radiação que efetivamente atravessa a atmosfera é dada pela transmissividade. Em algumas faixas do espectro, essa transmissividade é maior, constituindo as denominadas janelas espectrais, conforme Figura 3. 1.

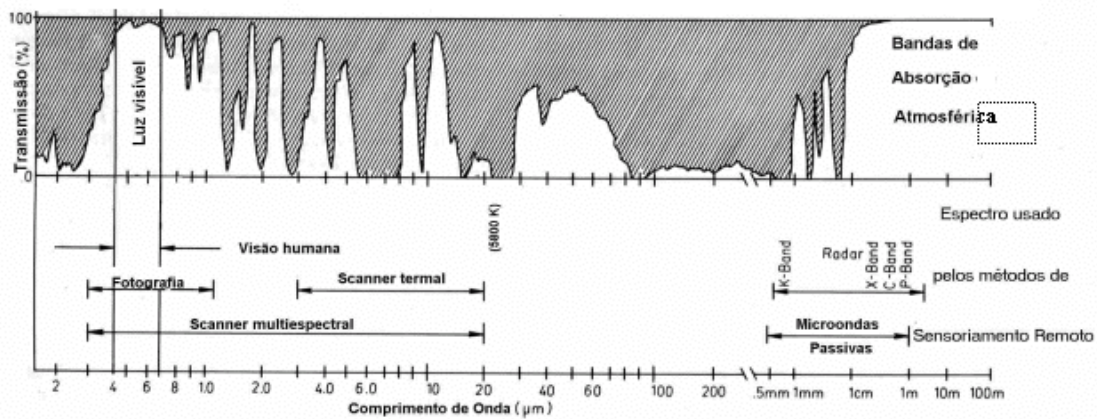


Figura 3. 1. Janelas e bandas espectrais (fonte: Kronberg, 1985, *apud* ENVI, 2005)

Devido à existência de janelas espectrais, os instrumentos de sensoriamento remoto captam radiação apenas no intervalo de 0,2 μm a 1m, dividido em faixas conhecidas como bandas espectrais ou canais. As principais parcelas do espectro, sob o ponto de vista do sensoriamento remoto, são as seguintes:

- Ultravioleta ou UV: de 0,2 a 0,4μm (10^{15} - 10^{16} Hz);
- Visível ou VIS: de 0,4 a 0,7 μm (10^{14} – 10^{15} Hz);
- Infravermelho ou IR: de 0,7 μm a 1 mm (10^{12} – 10^{14} Hz);
- Microondas ou MW: de 1mm a 1m (10^8 – 10^{11} Hz).

O infravermelho pode ser dividido em infravermelho próximo (*Near Infrared* ou NIR – de 0,7 a 3μm) e infravermelho afastado (*Far Infrared* ou FIR – de 3 a 1000 μm). O NIR comporta-se como a luz visível, porque também é provocado pela reflexão solar, porém o FIR é caracterizado pela radiação térmica reemitida (ENVI, 2005). A radiação FIR é por isso conhecida como radiação térmica ou de onda longa, e as bandas dessa parcela são denominadas bandas termais.

A radiação eletromagnética proveniente do sol, ao incidir sobre um alvo na superfície terrestre, pode sofrer três processos:

- Transmissão: a proporção entre radiação transmitida e incidente é denominada transmitância;
- Absorção: a proporção entre radiação absorvida e incidente é denominada absortância;

- Reflexão: nesse caso, a proporção entre radiação refletida e incidente é chamada de reflectância.

A determinação da natureza dos alvos em sensoriamento remoto é baseada no fato de que diferentes materiais têm diferentes reflectâncias em cada banda do espectro. Quando as respostas espectrais de vários alvos são conhecidas, é possível determinar a natureza de um alvo desconhecido através da comparação da resposta espectral deste com dados de referência.

As imagens de satélite são organizadas em matrizes de forma que a cada elemento de área na superfície corresponda uma resposta espectral. Essas matrizes são armazenadas em arquivos computacionais denominados *raster* e o elemento de área é conhecido como *pixel*, cujas dimensões podem variar de alguns metros para vários quilômetros. Obviamente, por se tratar de um elemento finito de área, a resposta do *pixel* é uma média das respostas dos diferentes alvos contidos nele, havendo uma perda de detalhamento nesse processo, quando comparado com amostras pontuais.

Os sensores utilizados em sensoriamento remoto podem ser classificados em ativos ou passivos, conforme a fonte de energia que utilizam para imagear os alvos terrestres. Os sensores passivos não possuem uma fonte própria de radiação, utilizando-se da radiação solar refletida ou emitida pelos alvos. Os sensores ativos possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética, tal como ondas de radar (*RADio Detection And Ranging*).

Já os satélites a bordo do qual se encontram os sensores passivos podem ser classificados em função da órbita que descrevem em torno do planeta. Assim, os satélites podem apresentar órbitas geoestacionárias, polares ou oblíquas, conforme Figura 3. 2.

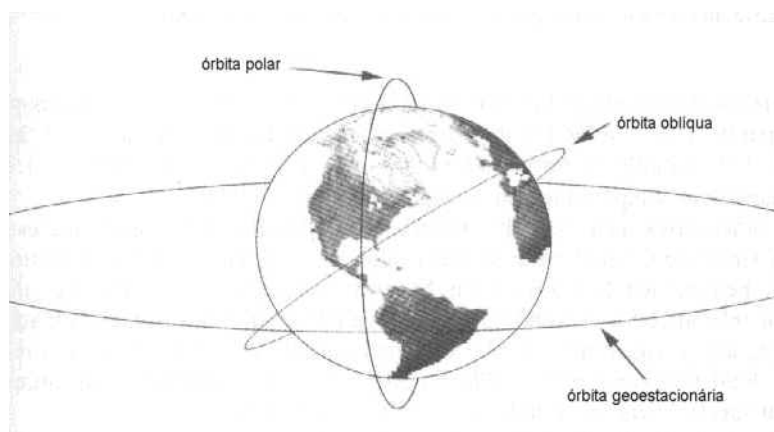


Figura 3. 2. Tipos de órbita de satélites (Schultz e Engman, 2000)

Satélites ditos geoestacionários orbitam sempre sobre o mesmo ponto do planeta, mantendo uma velocidade angular igual à da rotação da terra. Esta característica confere a este tipo de satélites a capacidade de obter informações de áreas específicas do globo várias vezes por dia, caracterizando alta resolução temporal de imageamento. Os satélites da série GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*), por exemplo, produzem 96 imagens diárias por canal. Em contrapartida, estes satélites situam-se em grandes altitudes, tipicamente cerca de 36.000 km, acarretando em uma menor resolução espacial em cada banda. De fato, a distância da órbita de satélites geoestacionários à terra impossibilita a operação de radiômetros de microondas a bordo dos mesmo (Petty, 1995). Além disso, satélites geoestacionários produzem imagens distorcidas em latitudes mais altas, devido a erros de paralaxe, sendo por isso inadequados para medições nos pólos, por exemplo.

Já satélites de órbitas polares ou oblíquas operam em altitudes bem mais baixas, da ordem de algumas centenas de quilômetros. Os satélites polares da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) orbitam a cerca de 850km de altitude, aproximadamente a mesma do satélite DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) enquanto que o satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), de órbita oblíqua, opera a 400km, permitindo alta resolução espacial mesmo em frequências menores como as de microondas. Outra vantagem é que estes satélites cobrem todo o planeta, não apenas áreas específicas. Entretanto, a frequência de passagem sobre um mesmo ponto é bastante baixa, de 1 a 2 dias, dependendo das características do satélite, de forma que a amostragem da obtenção de dados sobre pontos específicos fica comprometida.

Quanto à frequência de passagem, os satélites polares e oblíquos podem ser classificados ainda em heliossíncronos e não-heliossíncronos. Os primeiros são caracterizados por passarem sempre à mesma hora do dia sobre uma determinada latitude. A vantagem disto é que imagens no visível são feitas sob as mesmas condições de iluminação solar a cada dia. A desvantagem, por outro lado, é que o ciclo diário completo da precipitação não pode ser amostrado com um único instrumento (Petty, 1995).

3.2. As imagens de satélite como ferramenta de medição de precipitação

Os satélites e os sistemas de sensoriamento remoto têm aplicações em diversas áreas do conhecimento, entre elas atividades militares e de defesa, prevenção de catástrofes, detecção de

queimadas, sendo que a obtenção de dados hidrológicos ou de parâmetros para a modelagem hidrológica é apenas mais uma das possibilidades do sensoriamento remoto.

As fotografias aéreas em bandas do visível são o produto do sensoriamento remoto com o qual historicamente a maior parte dos hidrólogos está familiarizada. O sensoriamento remoto moderno, no entanto, está fortemente ligado a sistemas de satélites, extraindo informações em quase todas as bandas do espectro. Seu contínuo desenvolvimento tem incorporado novas técnicas com potencial de uso em várias aplicações em hidrologia (Schultz e Engman, 2000).

As imagens de satélite têm-se constituído numa ferramenta para obtenção das mais diversas componentes do ciclo hidrológico. A umidade do solo, por exemplo, pode ser estimada dessa forma (Lakshimi, 2004). McGuire e Lettenmaier (2004) fizeram uso de imagens de satélite para estimar volumes de água na forma de neve, de forma a estabelecer condições iniciais de um modelo de derretimento de neve, o qual estava inserido em um modelo de previsão de vazão afluente a reservatórios. Embora esta variável desempenhe um papel muito irrelevante no cenário hidrológico brasileiro, mostra o potencial da ferramenta para estimar variáveis do ciclo hidrológico. Da mesma forma, técnicas de estimativa de balanço de energia e evapotranspiração real a partir de imagens de satélite têm sido desenvolvidas (Bastiaanssen et al. 1998a e 1998b), inclusive com uma aplicação para o estado do Rio Grande do Sul (Giacomoni e Mendes, 2005). No entanto, a evapotranspiração é uma variável à qual os modelos hidrológicos em geral são relativamente menos sensíveis, em comparação com a precipitação, a qual é um elemento crítico na modelagem hidrológica (Guo et al., 2004).

Os primeiros métodos de estimativa de precipitação por satélite a surgir eram baseados em imagens em bandas no infravermelho e no visível. Mais recentemente, começaram a surgir metodologias usando imagens de sensores de microondas (Levizzani, 1998). Atualmente, técnicas híbridas vêm sendo propostas, as quais se propõe a extrair as vantagens e minimizar as desvantagens de cada uma. Os princípios de cada tipo de estimativa são brevemente descritos a seguir.

3.2.1. Técnicas baseadas no visível e infravermelho (VIS/IR)

Mesmo antes do primeiro satélite meteorológico, o TIROS 1 (*Television and InfraRed Observation Satellite*) fornecer as primeiras imagens de topos de nuvens, em abril de 1960, já se

supunha que a ocorrência e mesmo a intensidade de eventos chuvosos poderia ser inferida a partir da resposta espectral de conjuntos de nuvens (Petty, 1995).

O princípio da estimativa de precipitação de chuva através de sensoriamento em bandas no visível é o fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior (Petty, 1995).

Da mesma forma, temperaturas de topo de nuvem baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e conseqüentemente a uma taxa de precipitação maior. A temperatura do topo de nuvem pode ser obtida a partir de medições de reflectância em bandas de infravermelho. Não por acaso, essa banda é denominada de banda termal. As hipóteses contidas neste parágrafo e no anterior foram a pedra fundamental das primeiras tentativas de estimar precipitação a partir do espaço.

Porém, rapidamente se tornou evidente o fato de que nem toda a nuvem brilhante e nem toda nuvem com topo frio (ou seja, com reflectância baixa no IR) está efetivamente produzindo precipitação. Inversamente, nem toda nuvem precipitante é brilhante ou fria. Mais frustrante do que isso foi a constatação de que os limites de reflectância, definidos para distinguir nuvens precipitantes das não-precipitantes, variavam significativamente de acordo com a situação. (Petty, 1995). Ou seja, além de haver uma incerteza na quantificação da precipitação, há dificuldade por parte dos sensores em distinguir a chuva da não-chuva.

De fato, estimativas no infravermelho e no visível podem ser feitas apenas localmente, fornecendo maus resultados quando transpostas para outras regiões (Wilheit, 1986, Petty, 1995), sendo essa provavelmente a sua principal limitação.

Suas vantagens, por outro lado, são a alta resolução temporal, de até 15 minutos no caso de satélites GOES, possível graças à órbita geoestacionária, permitindo a representação completa da variação diária das precipitações, e a alta resolução espacial de imagens IR (cerca de 4 km), mesmo a despeito das grandes altitudes típicas destes satélites, fornecendo estimativas com grande detalhamento.

De fato, a despeito de suas limitações, a discriminação de nuvens baseada em seu brilho no visível e/ou em sua temperatura no infravermelho foi, pelo menos até meados da década de 90, a base da maior parte dos trabalhos na área (Petty, 1995). As estimativas nessas bandas podem ser classificadas em três classes básicas (Schultz e Engman, 2000):

- a) **Indexação de nuvens:** esta foi a primeira técnica desenvolvida para estimar precipitação a partir do espaço. Se baseia na hipótese de que a probabilidade de ocorrer precipitação sobre uma determinada área está relacionada com a quantidade e tipo de nuvens presentes sobre essa área. Na prática, trata-se de ajustar uma equação relacionando um índice de precipitação (PI) com uma área superficial de nuvens:

$$PI = A_0 + \sum_i A_i \cdot S_i(TBB_i), \quad (\text{eq. 3.2})$$

onde $S_i(TBB_i)$ é a área de nuvem associada a uma determinada temperatura de brilho da superfície (inferior a um valor-limite T_0) e A_0 e A_i são os coeficientes de ajuste. O índice de precipitação PI é associado a alguma quantificação de chuva no solo, como observações independentes de radar ou pluviógrafos. Se desejado, um termo adicional que contemple a reflectância no visível pode ser incluído no lado direito da equação.

- b) **Evolução de nuvens (*Life-history methods*):** são baseadas na observação de séries de imagens consecutivas obtidas de satélite geostacionário. Verifica-se que o volume de precipitação associado a um tipo de nuvem também está relacionado ao seu estágio de desenvolvimento, de forma que duas nuvens apresentando o mesmo aspecto (do ponto de vista de imagens VIS/IR) podem produzir diferentes quantidades de chuva dependendo se estiverem evoluindo ou decaindo. A formulação é semelhante à anterior, uma vez que se determina uma relação entre um índice de precipitação (PI) e a temperatura de brilho (TBB). Além disso, é adicionado um termo que leva em conta a taxa de variação da área de nuvem em uma determinada temperatura entre duas imagens consecutivas, conforme abaixo:

$$PI = A_0 + A \cdot S(TBB) + A' \cdot \frac{d}{dt} S(TBB) \quad (\text{eq. 3.3})$$

para temperaturas abaixo da temperatura-limite T_0 . O valor de T_0 , a temperatura de brilho do topo de nuvem acima da qual não há precipitação, é da ordem de 235°K para o atlântico leste, segundo Richards e Arkin (1981), *apud* Schultz e Engman (200).

- c) **Técnicas bispectrais:** exploram as informações de profundidade das nuvens, obtida de imagens no visível, e de altitude das mesmas, obtidas de imagens no infravermelho. Os dados são divididos em um número de classes IR e classes VIS, e se produz uma tabela de probabilidades de ocorrência de chuva a partir da comparação com dados de radar,

gerando campos de probabilidade como o mostrado na Figura 3. 3. As tabelas são então aplicadas para áreas fora do alcance do radar. Como era de se esperar, a probabilidade é maior para classes mais brilhantes (VIS) e mais frias (IR).

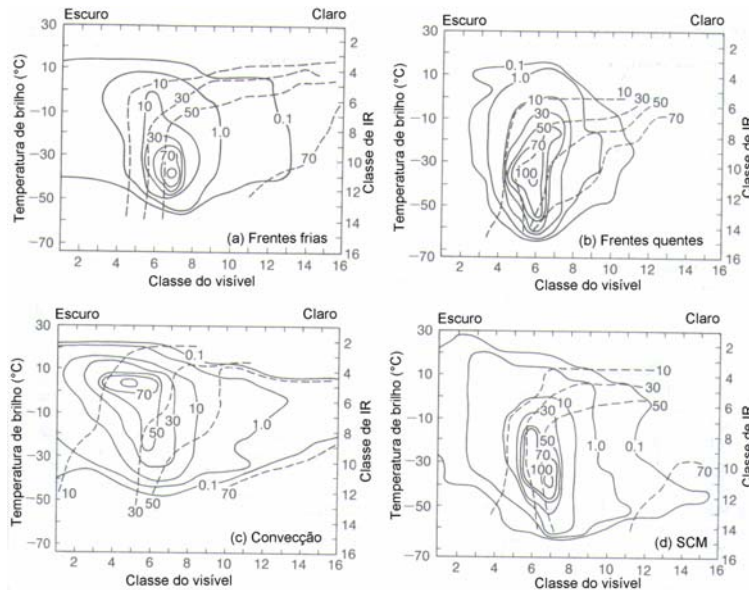


Figura 3. 3. Campos de probabilidade de ocorrência de chuva sobre o Reino Unido (linha tracejada) para quatro diferentes tipos de precipitação (adaptado de Cheng et al. 1993)

3.2.2. Técnicas baseadas em imagens de microondas (MW)

As técnicas baseadas em bandas no visível e no infravermelho são inerentemente indiretas, ou seja, os parâmetros diretamente observados do espaço são dependentes da ocorrência de chuva na nuvem por intermédio apenas de uma correlação estatística. Um divisor de águas na estimativa de precipitação por satélite foi o emprego de sensores de microondas que respondem de forma razoavelmente física à presença de água e/ou cristais de gelo nas nuvens.

A conversão de brilho espectral, que é a resposta do sensor de microondas, em temperatura de brilho é feita através da inversão da lei de Planck (Schultz e Engman, 2000):

$$B(T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (\text{eq. 3.4})$$

onde $B(T)$ é a radiação emitida por um corpo negro ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{m}^{-1}$), h é a constante de Planck, $6,62\cdot 10^{-34}$ J·s, k é a constante de Boltzmann, $1,38\cdot 10^{-23}$ J·°K⁻¹, λ é o comprimento de onda emitido, (m), c é a velocidade da luz, $3\cdot 10^8$ m·s⁻¹, e T é a temperatura de brilho, (°K), de um corpo negro.

A lei de Planck estabelece a emissão de uma superfície ideal. Entretanto, superfícies líquidas, como oceanos, emitem cerca de metade da energia especificada pela lei de Planck e aparecem como tendo apenas a metade da sua temperatura real. Gotas de água, por outro lado, aparecem como tendo uma temperatura praticamente igual à sua temperatura real, de forma que quanto maior o número de gotas numa nuvem, mais quente ela parece. Assim, há um contraste entre a superfície “fria” (o oceano) e a superfície “quente” (a nuvem precipitante) (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). Pode-se então estabelecer uma temperatura limite (*threshold temperature*), acima da qual se considera que está ocorrendo precipitação. Se corretamente calibrado, esse procedimento permite a estimativa de taxas de precipitação bastante precisas. De fato, desde a década de 1970 existem sensores em bandas de microondas estimando precipitação sobre o oceano, como os sensores ESMR (*Electrically Scanned Microwave Radiometer*) e SMMR (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*), a bordo da série Nimbus, operando em frequências entre 6,6 e 37 GHz.

Assim, a taxa de precipitação sobre os oceanos é uma função crescente da temperatura de brilho. A Figura 3. 4 mostra os resultados de validações feitas por Wilheit (1986) a partir de dados de radar em solo para estimativas de precipitação sobre o oceano em diferentes frequências de microondas do satélite Nimbus. Deve-se ressaltar a excelente concordância entre as estimativas teóricas obtidas do satélite e os dados medidos em solo.

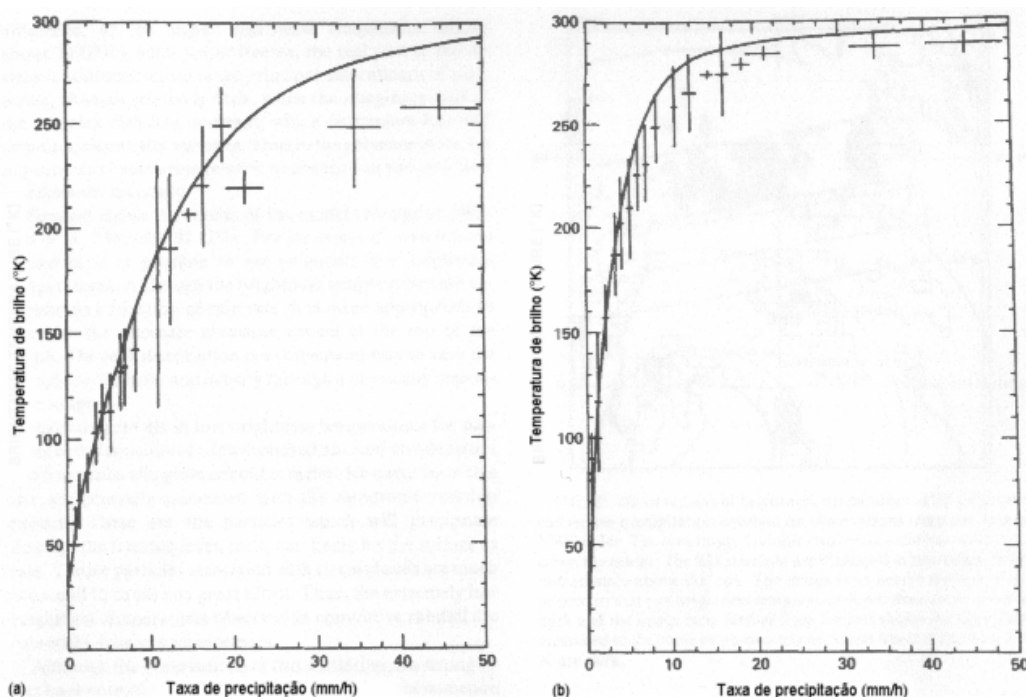


Figura 3. 4. Ajuste entre medidas de radar em solo e estimativas de precipitação sobre o oceano por microondas a 19,35 GHz (a) e 37 GHz (b) (Fonte: Wilheit, 1986)

Infelizmente, no caso de precipitação sobre a terra, o comportamento é um pouco diferente. A superfície terrestre tem uma temperatura de brilho da ordem de 90% de sua temperatura real, havendo, portanto, muito pouco contraste entre estruturas precipitantes e a terra. No entanto, algumas outras características da precipitação podem ser inferidas, uma vez que frequências mais altas em canais de microondas (cerca de 85 GHz) passam a sofrer forte dispersão devido à presença de cristais de gelo na nuvem, reduzindo a resposta no sensor e criando um contraste com a superfície quente da terra. A precisão de estimativas de precipitação por satélite sobre a terra ainda é muito inferior à das estimativas sobre oceanos, pois o contraste é menor, mas ainda assim são dados válidos (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). De fato, apesar de algumas tentativas parcialmente bem-sucedidas de usar sensores a 37 GHz para estimativa de precipitação sobre a terra, apenas com o lançamento do sensor SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*) a bordo do satélite DMSP, o qual mede com canais de até 85 GHz, é que se conseguiu distinguir precipitação sobre a terra de forma relativamente consistente (Pretty, 1995).

Outra vantagem de radiômetros com canais em frequências dessa magnitude é o aumento da resolução espacial obtido, a qual pode chegar a até 6 km no caso do sensor TMI (*TRMM Microwave Imager*), o que é bastante alto em se tratando de sensores de microondas.

Para a correta quantificação da precipitação, os modelos de estimativa por microondas sobre a terra usam um parâmetro adicional, a espessura da camada de gelo na nuvem. Portanto, no caso da estimativa de precipitação sobre a terra, a taxa de precipitação passa a ser uma função decrescente da temperatura de brilho, ao contrário da estimativa sobre os oceanos, e o problema da calibração passa a ser determinar uma temperatura limite **abaixo** da qual ocorre precipitação no *pixel*. A Figura 3.5 mostra as funções teóricas de estimativa a 92 GHz para várias espessuras de camada de gelo.

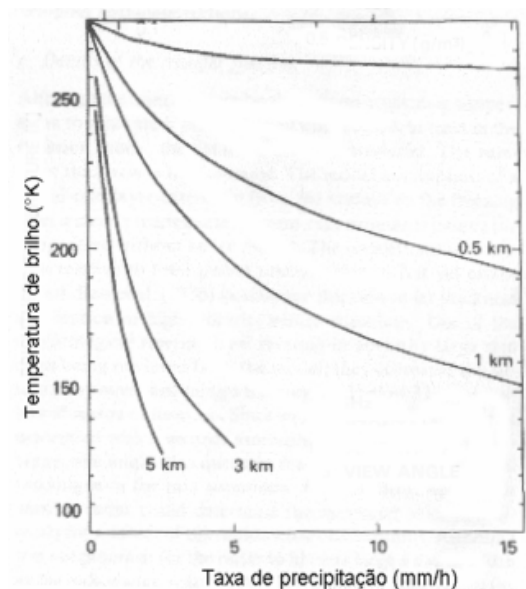


Figura 3. 5. Estimativas teóricas de precipitação por microondas, de acordo com a espessura estimada da camada de gelo na nuvem (obtido de Wilheit, 1986)

Pela figura anterior, pode-se perceber que a taxa de precipitação sobre a terra, estimada por sensores de microondas em órbita, é fortemente dependente do parâmetro de espessura da camada de gelo. Wilheit (1986) já alertava que a melhor forma de estimar esse parâmetro seria por meio de radares a bordo do satélite. Essa constatação foi uma das motivações para o envio do primeiro radar meteorológico em órbita a bordo do satélite TRMM (Kummerow, 2000).

A principal desvantagem de estimativas MW é o longo período entre duas passagens subseqüentes do satélite sobre um mesmo ponto na superfície terrestre, devido à órbita oblíqua típica de satélites portando sensores de microondas. Esse período pode ser de até dois dias, dependendo do satélite e da latitude, sendo tanto menor quanto mais próximo da linha do Equador se encontre o ponto considerado. Essa taxa de amostragem é demasiadamente baixa e não permite que seja possível uma integração correta dos totais precipitados sobre períodos mais longos e/ou áreas maiores, como alerta Petty (1995). A baixa resolução espacial de sensores microondas (não superior a 6km), mesmo a despeito de sua baixa altitude, é outra desvantagem frente às estimativas VIS/IR.

Apesar da convecção ser responsável pela maior parte da geração da precipitação nos trópicos, chuvas estratiformes também representam um volume considerável. Schumacher e Houze Jr. (2004), baseados em informações do satélite TRMM, afirmam que os cristais de gelo, embora amplamente presentes e envolvidos na formação de precipitação estratiforme, provavelmente são

menores e/ou menos numerosos do que em fenômenos convectivos, de forma a reduzir a dispersão de microondas. Assim, a estimativa por satélite de precipitação frontal tem maior incerteza associada.

Por fim, deve ser destacada a incapacidade dos sensores de microondas discriminarem precipitação orográfica. A colisão-coalescência de moléculas de vapor em terrenos em aclave é um tipo de formação de precipitação importante em determinadas regiões e que produz pouca ou nenhuma partícula de gelo, impossibilitando sua estimativa pela técnica descrita acima. Infelizmente, tampouco as técnicas baseadas em sensores de infravermelho são apropriadas para identificar precipitação orográfica, uma vez que as nuvens associadas são em geral muito mais quentes do que a temperatura limite usada para delineamento de precipitação (Petty, 1995).

De forma geral, as estimativas baseadas em imagens de microondas são mais precisas do que as obtidas com base em imagens no infravermelho (Ramage et al., 2003). No entanto, a alta resolução temporal e espacial de estimativas VIS/IR é uma vantagem considerável destas técnicas. Assim, diversas técnicas híbridas vêm sendo desenvolvidas para explorar as vantagens de cada uma das bandas, ou seja, a alta resolução espacial das estimativas IR e o caráter global das estimativas MW.

Em países industrializados, poucos trabalhos que procuravam estimar chuva com imagens de satélite foram encontrados. Isto se deve provavelmente ao fato de que estes países possuem maior número de radares meteorológicos, os quais fornecem melhores representações da distribuição espacial das chuvas. Porém, o mesmo não vale para países em desenvolvimento, que em geral possuem esparsa rede de pluviômetros e dificuldades de toda ordem de acesso aos dados. Não parece ser por acaso, portanto, o número razoável de trabalhos encontrados que estimam precipitação via satélite sobre países da África. O trabalho de Nicholson (2005) é um exemplo, onde dados de precipitação do satélite TRMM são usados para estender séries históricas de precipitação, estabelecendo importantes conclusões sobre a variabilidade de longo prazo da precipitação na região desértica do Sahel.

Nesse grupo, destaca-se também o trabalho de Bwanali (2001), que correlacionou precipitação sobre o Zimbábue com temperatura no topo de nuvens estimada a partir de imagens METEOSAT do EUMETSAT (*European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites*). Esse satélite possui alta resolução temporal de imageamento (cerca de 30 minutos), o que permite uma boa representação da variabilidade tanto temporal quanto espacial da precipitação.

O autor observa que o potencial do uso de sensoriamento remoto para estimativas espaciais da precipitação é alto, porém salienta que em grandes áreas, seu uso deve ser corrigido por meio de medições pontuais no solo. Também Testfatsion e Dinku (2003) correlacionaram precipitação com o índice CCD (*Cold Cloud Duration*), o qual mede o tempo durante o qual o topo de uma nuvem esteve abaixo de uma temperatura limite, estimando precipitação para a Etiópia. Os autores, entretanto, estabeleceram relações lineares entre CCD e precipitação, de forma que o modelo é muito simplificado para a explanação de um fenômeno tão complexo. De fato, os resultados obtidos não são muito bons, apenas em termos de médias interanuais de precipitação o autor teve um resultado um pouco melhor. Ramage et al. (2003) compararam dados de satélites TRMM, GPCP (*Global Precipitation Climatology Project*) e METEOSAT com medições em terra. Os autores compararam precipitação acumulada de 1, 5 e 10 dias sobre o oeste da África. Para o acumulado de 1 dia, os resultados foram bastante ruins, melhorando no entanto com o aumento do período de acumulação. O TRMM e o GPCP superestimaram sistematicamente em 6% a 17% a precipitação, enquanto o METEOSAT a subestimou em 15% a 25%.

Com relação às estimativas de precipitação baseadas em correlações com temperatura de topo de nuvem, Barrera (2005) alerta que essas estimativas são mais confiáveis para o caso de chuvas de origem convectiva. Assim, é de se esperar que essas estimativas produzam resultados menores em latitudes mais baixas, onde predomina a ocorrência de precipitação convectiva. Essa é provavelmente a razão para os maus resultados das estimativas feitas por Struzik (2003), que correlacionou taxa de precipitação com temperatura de topo de nuvem de forma a estimar precipitação espacial sobre a Polônia, país onde as chuvas provavelmente são predominantemente frontais.

No caso do Brasil, há trabalhos pontuais com o objetivo de estimar precipitação por satélite. Um dos pioneiros é o trabalho de Conti (2002), bastante completo e abrangente, que realizou ainda um estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul, obtendo resultados satisfatórios. Infelizmente, as técnicas de estimativa por microondas ainda não se encontravam então devidamente consolidadas, razão pela qual o autor usou apenas dados de imagens no visível e infravermelho. Destaca-se, também, o trabalho de Araújo e Guetter (2005), que comparou estimativas de satélites de órbita baixa com medições de solo em pequenas e médias bacias do estado do Paraná, concluindo que há boa aderência das estimativas.

Em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas

baseadas em imagens de outros satélites (Barrera, 2005), sendo usado inclusive para validação dessas técnicas. Também Nicholson (2005) afirma que o projeto TRMM resultou em medidas consideravelmente mais confiáveis do que as estimativas feitas até então. Em vista disso e também do fato de que as séries disponíveis estimadas a partir desse satélite são mais longas, usar-se-ão exclusivamente dados de precipitação estimados pelo TRMM neste trabalho.

3.3. Considerações sobre dispersão entre estimativas areais e pontuais

Embora tratem-se de valores integrados sobre a superfície da boca do pluviômetro, valores de precipitação medidos em pluviômetros podem ser considerados pontuais. A diferença que se observa ao comparar-se uma medição pontual com uma estimativa sobre uma área que contenha o ponto em questão se deve em parte aos erros de medição e estimativa, porém também em grande parte à variabilidade espacial da precipitação, a qual produz flutuações ao redor da média de todos os pontos dentro da área. Assim, o erro cometido na determinação da precipitação média sobre uma área a partir de vários dados pontuais poderia diminuir usando-se uma rede densa de pluviômetros ou pluviógrafos.

Pode-se assumir que a precipitação total sobre um determinado ponto é resultado de um processo estocástico espacial na área afetada (Valdés et al., 1994, *apud* Barrera, 2005), de forma que os valores pontuais flutuam em torno de um valor médio de uma determinada área. Desta forma, para a área de um *pixel*, pode-se estabelecer que:

$$P_i = P_m + P'_i, \quad (\text{eq. 3.5})$$

onde P é o valor da precipitação pontual medida em um pluviômetro “ i ” interno ao *pixel*, P_m é a precipitação média no *pixel* no qual o pluviômetro se encontra, e P' é a diferença entre os dois valores anteriores, ou seja, o desvio do valor médio devido ao processo de flutuação. Como o erro de medição é usualmente muito menor do que o termo de flutuação (Lebel et al. 1987, *apud* Barrera, 2005), pode-se assumir que a medição do pluviômetro não possui erros. Assim, o termo do lado esquerdo da equação 3.5 pode ser considerado o valor pontual verdadeiro. O primeiro termo do lado direito é o valor estimado pelo satélite considerado.

Além disso, a variância associada à precipitação, em um ponto em particular, pode ser composta pela soma da variância do valor médio da área no qual se encontra e do desvio da média nesse ponto. Devido à existência desse último termo de variância, o coeficiente de correlação entre

precipitações pontuais e espaciais nunca atinge o valor de 1, mesmo que as observações pontuais sejam exatas e as estimativas espaciais sejam perfeitas. Portanto, ao validar as estimativas areais derivadas do satélite através do coeficiente de correlação entre valores pontuais e areais, deve-se ter em mente que apenas uma parte da diferença em relação à unidade no valor de correlação calculado se deve ao erro da estimativa, enquanto que outra parte se deve aos erros de observação contidos no dado pluviométrico (o qual pode-se supor desprezível) e outra parte significativa, porém desconhecida, se deve ao fato de que está-se comparando valores integrados espacialmente em escalas distintas (por um lado, a superfície da boca do pluviômetro e por outro, a área do *pixel* da estimativa)

Assim, devido à variabilidade espacial do fenômeno, podem-se esperar valores de coeficiente de correlação distantes da unidade, mesmo quando as estimativas espaciais por satélite sejam boas (Barrera, 2005).

3.4. O projeto TRMM e o produto 3B42

O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al. 2000).

O satélite possui órbita oblíqua não-heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350km, desde 2001 cerca de 403km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altos.

Os instrumentos a bordo do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS). O sensor de microondas (TMI) é o principal instrumento na medição de precipitação, obtida através da lei inversa de Planck e correlação com temperatura de topo de nuvem, como comentado anteriormente. O instrumento imageia com um ângulo NADIR de 49°, o que resulta em um ângulo de incidência na superfície terrestre de 52,8°. Para refinar as estimativas, afetadas pelas diferentes formações de nuvens, faz-se uso do radar de precipitação (PR), que é o primeiro radar meteorológico a ser lançado a bordo de um satélite, permitindo produzir mapas tridimensionais de estruturas precipitantes. Esse radar é capaz de detectar taxas de precipitação muito baixas, da ordem

de menos de $0.7\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Kawanishi *et al.*, 2000). A Figura 3. 6 mostra uma representação esquemática do processo de aquisição de dados do TRMM.

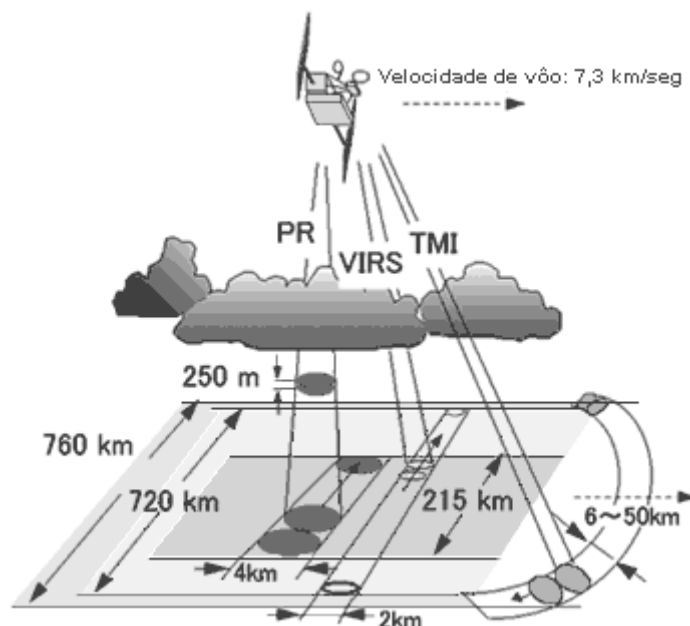


Figura 3. 6. Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI, varredura verde), radiômetro (VIRS, varredura amarela) e radar meteorológico (PR, varredura vermelha) do satélite TRMM (Adaptado de <http://daac.gsfc.nasa.gov/>)

As grandezas primárias medidas pelos instrumentos TMI, PR e VIRS são, respectivamente, temperatura, potência e radiância. A partir de combinações sucessivas entre essas medidas e seu cruzamento com produtos de outros satélites, são obtidas as estimativas referentes à precipitação, cuja resolução temporal e espacial depende do refinamento da estimativa.

Para refinar as medições, existe um programa de validação em campo (Ground Validation ou GV), contando com radares meteorológicos em diversas estações ao longo da faixa intertropical. A Tabela 3. 1 mostra os locais onde há postos de GV do TRMM e a frequência de passagem de cada um dos instrumentos sobre estes postos.

Tabela 3. 1. Postos do programa de validação em campo (GV) do projeto TRMM e frequência com que são visitados por cada um dos principais instrumentos do TRMM

Frequência de passagem do TRMM (Número de visitas em um período de 30 dias)							
Sítio de validação	Latitude (°)	PR	TMI	Sítio de validação	Latitude (°)	PR	TMI
Atol Kwajalein	8.72	9	31	Brownsville, TX	25.97	13	47
Darwin, Australia	-12.45	10	32	Corpus Christi, TX	27.85	15	51
Guam	13.50	9	32	Tampa, FL	28.03	13	52
Om Koi, Tailândia	17.80	9	33	Melbourne, FL	28.10	15	53
Kauai, HI	22.17	13	38	San Antonio, TX	29.53	16	59
São Paulo, Brasil	-23.58	12	42	Jacksonville, FL	30.33	19	65
Taiwan	23.92	11	42	Texas A&M, TX	30.58	18	68
Key West, FL	24.67	13	42	Jerusalém, Israel	31.87	20	102
Miami, FL	25.75	13	45	PR: Radar de precipitação; TMI: Sensor de microondas			

A Figura 3. 7 mostra a seqüência de procedimentos para geração das diferentes estimativas do TRMM.

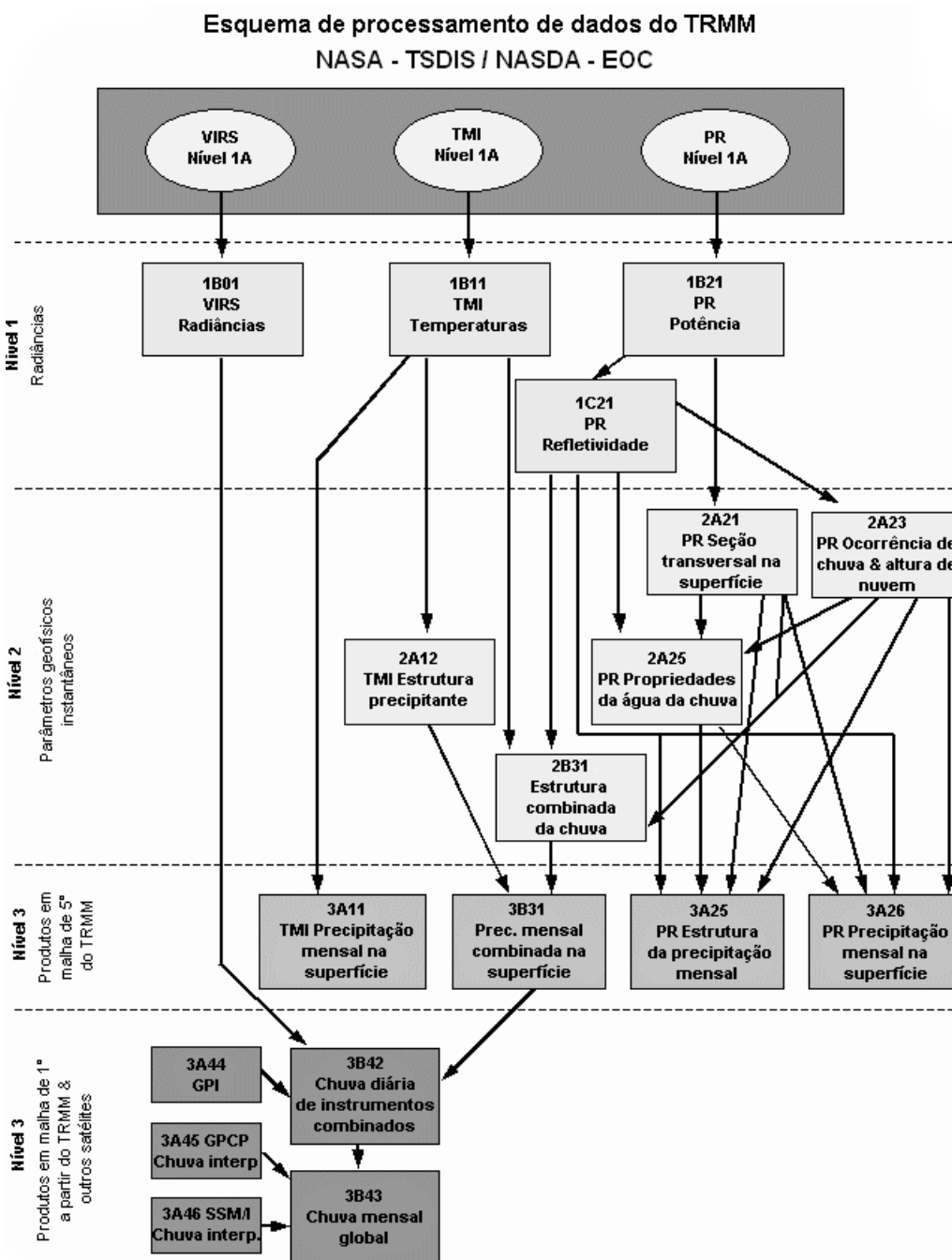


Figura 3. 7. Fluxograma de dados para geração de estimativas do projeto TRMM

O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3B42, que será usado neste trabalho, usa estimativas de precipitação por microondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas do PR. O projeto TRMM possui ainda um programa de validação em campo, para minimização das diferenças entre estimativas por satélite e medições no solo. Deve-se ressaltar que essa calibração com dados de campo é feita de forma bastante global e

generalizada, podendo gerar estimativas locais pouco precisas. As estimativas são então convertidas para acumulados mensais por meio de interpolação para preencher as lacunas na continuidade temporal, decorrentes da baixa frequência de passagem, gerando o produto 3B31. Esse produto tem alta resolução espacial, de $0,25^\circ$, porém resolução temporal inadequada para a simulação em modelos chuva-vazão. Os acumulados mensais são então usados para corrigir estimativas baseadas em imagens do infravermelho de satélites da série GOES, os quais possuem resolução temporal de 3 horas. Consegue-se, assim, um produto que combina resoluções temporal e espacial altas.

A Figura 3. 8 mostra o campo de estimativas do produto 3B42 do TRMM sobre a bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias, válido para um período de 3 horas do dia 10/1/2003. A escala de cores representa a intensidade média da chuva em cada *pixel*, de forma que cores mais quentes correspondem a precipitações mais intensas.

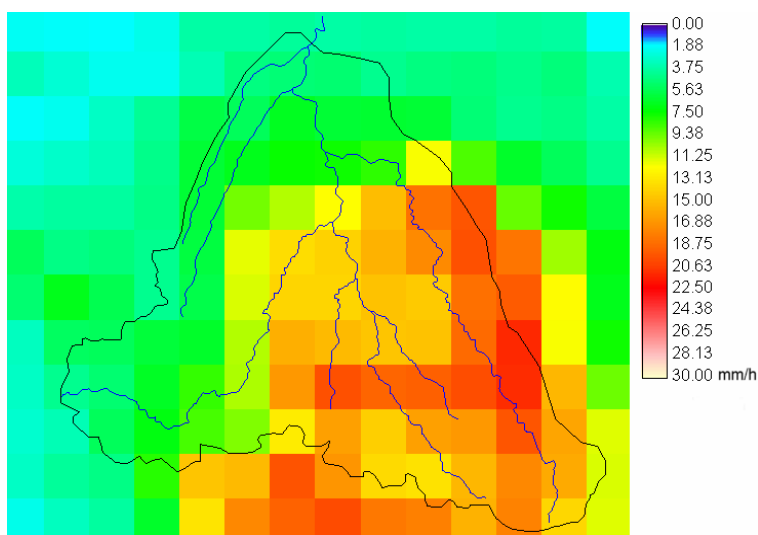


Figura 3. 8. Taxa de precipitação estimada pelo TRMM sobre a bacia do São Francisco até a UHE Três Marias no período de 19:30 a 22:30 do dia 10/1/2003

A grande vantagem deste produto em especial é sua alta resolução temporal, de 3 horas, e espacial, de 0.25° , na faixa entre 50°S e 50°N . Por outro lado, a desvantagem é a complexidade do algoritmo e o número de dados necessários para gerar o produto, de forma que os dados não são distribuídos de forma imediata. Mesmo assim, atualmente, as estimativas de um mês qualquer são disponibilizadas até o dia 15 do mês seguinte, prazo que pode ser considerado relativamente curto.

Com relação à vida útil do satélite TRMM, cabe ressaltar que, inicialmente, o satélite estava previsto para fornecer dados até março de 2004 (Kummerow *et al.*, 2000). Porém, com a manobra de elevação de altitude, realizada em agosto de 2001, o satélite teve sua vida útil estendida, devido à

economia no consumo de energia (embora com uma leve redução na resolução espacial dos instrumentos). Por duas vezes, a Agência anunciou o adiamento do fim do programa. Por fim, em junho de 2005, foi atingida a reserva de combustível necessária para a reentrada controlada do satélite na atmosfera, procedimento que assegura a queda do satélite no oceano. A Agência decidiu então abrir mão da reentrada controlada, considerando que o benefício advindo da extensão das medições supera o risco de que eventuais peças que não tenham se desintegrado no choque com a atmosfera provoquem danos materiais ou físicos em terra, risco que é avaliado em 1 em 10.000. Com a renúncia ao procedimento, o combustível restante é suficiente para estender a operação do TRMM até o ano de 2010. O adiamento do fim da operação evidencia a satisfação com os resultados obtidos pelo programa, satisfação atestada por vários autores, como Flaming (2004), Hiroshima (1999) e Kummerow *et al.* (2000).

Devido a esse relativo sucesso, a NASA prepara um programa para suceder o TRMM, chamado de GPM (*Global Precipitation Measurement*), prevendo para 2007 o lançamento de múltiplos satélites, equipados com sensores e radares similares ao anterior, porém com maior resolução (Flaming, 2004). Isto permite que haja certo otimismo entre hidrólogos, pois incrementa significativamente o volume de dados de chuva disponíveis, problema que tem sido um dos gargalos da modelagem hidrológica em países como o Brasil.

4. Precipitação estimada por satélite em modelos hidrológicos

Para avaliar a utilidade da estimativa de satélite na estimativa da vazão, é necessário utilizar essa estimativa em conjunto com um modelo que transforma precipitação em vazão, dado que as incertezas da estimativa da precipitação se transmitem para a estimativa da vazão. Neste capítulo, são apresentados sucintamente os modelos hidrológicos utilizados para estimar a vazão em bacias de grande dimensão. A seguir, são revisadas as estimativas de satélites utilizadas em conjunto com modelos hidrológicos.

4.1. Modelos hidrológicos para grandes bacias

Um modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas, segundo a definição de Tucci (1998). Quanto mais complexos os sistemas, mais desafiadores e necessários são os modelos. O modelo hidrológico é uma das ferramentas que a ciência desenvolveu para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica.

Em suas recomendações, o GEWEX (1998) adverte que a comunidade hidrológica deve dedicar grande atenção ao desenvolvimento de modelos que expandam seus limites geográficos para áreas de escala continental. Além disso, os modelos hidrológicos devem procurar incorporar os processos que compõem o balanço vertical de energia na superfície, de forma que sejam mais consistentes com os modelos atmosféricos (GEWEX, 1998; Burges, 1998). Os processos envolvidos nas interações entre superfície e atmosfera determinam, por exemplo, qual parcela da chuva irá infiltrar ou escoar superficialmente, bem como a redistribuição da água entre a superfície, solo, aquífero subterrâneo e canais (Troch et al., 2003). Portanto, são importantes para aplicações em atividades como agricultura, estudos climáticos, geração de energia, qualidade da água e prevenção de danos causados por fenômenos naturais (Silva, 2005).

A maioria dos modelos hidrológicos conceituais ainda é do tipo concentrado, que são adequados para pequenas bacias, pois não representam a variabilidade espacial das características da bacia (Hartmann et al. 1999). Embora tenham sido desenvolvidos diversos modelos do tipo distribuído, apropriados para captar as variações espaciais, o seu uso ainda continua restrito em pequenas bacias, devido a limitações na quantidade de dados necessários para sua aplicação (Singh e Woolhiser, 2002; Troch et al., 2003; Biftu e Gan, 2001).

De acordo com Entekhabi et al. (1999), é economicamente e logisticamente impossível obter dados, através de medidas de campo tradicionais, para atender modelos de escalas continentais de forma adequada. Entretanto, tecnologias com o sensoriamento remoto vêm criando novas possibilidades para a coleta de dados em grande escala, que utilizadas em conjunto com os sistemas de informações geográficas (SIG), permitiram desenvolver, ao longo da última década, diferentes modelos hidrológicos distribuídos. Tais modelos podem incorporar a distribuição espacial de várias informações e condições de contorno, como a topografia, vegetação, tipo e uso do solo, precipitação e evaporação, produzindo informações de saída como umidade do solo, fluxos subterrâneos e de superfície, distribuição vertical da água no solo, dentre outras (Troch et al., 2003).

Dentre os modelos hidrológicos desenvolvidos com essas características, pode-se citar o *Variable Infiltration Capacity* (VIC-2L), descrito por Liang et al. (1994). O VIC-2L possui uma estrutura semelhante aos *soil-vegetation-atmosphere transfer scheme* (SVATS) e é um dos modelos de grandes bacias mais conhecidos e aplicados. No modelo VIC-2L, a bacia é dividida em células regulares e a variabilidade da capacidade de infiltração é representada no interior de cada célula, de acordo com o tipo e uso do solo. Módulos de propagação nas células foram adicionados, permitindo comparar as vazões com valores observados (Nijssen et al., 1997; Lohmann et al., 1998a).

O modelo *Large Area Runoff Simulation Model* (LARSIM), assim como o VIC-2L, foi desenvolvido para ser um módulo de hidrológico em um modelo atmosférico (Bremicker, 1998 apud Collischonn, 2001). A formulação do LARSIM é semelhante ao VIC-2L, pois divide a bacia em células quadradas e o interior das células é subdividido em blocos que combinam uso do solo e cobertura vegetal.

Collischonn (2001) utilizou a estrutura do modelo LARSIM, com algumas adaptações do modelo VIC-2L, e desenvolveu o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH). Foram feitas modificações importantes, como a simplificação do módulo de balanço de água no solo, o módulo de evapotranspiração foi desenvolvido de acordo com os textos de Shuttleworth (1993) e Wigmosta et al. (1994) e foi incluída a metodologia de Muskingum-Cunge para a propagação do escoamento nos canais. O modelo tem sido aplicado com sucesso em bacias brasileiras, com diferentes características, tanto para simulação quanto para previsão. A Figura 4. 1 mostra as bacias em que o modelo já foi ou está sendo aplicado, as quais já correspondem a cerca de 30% do território sul-americano.

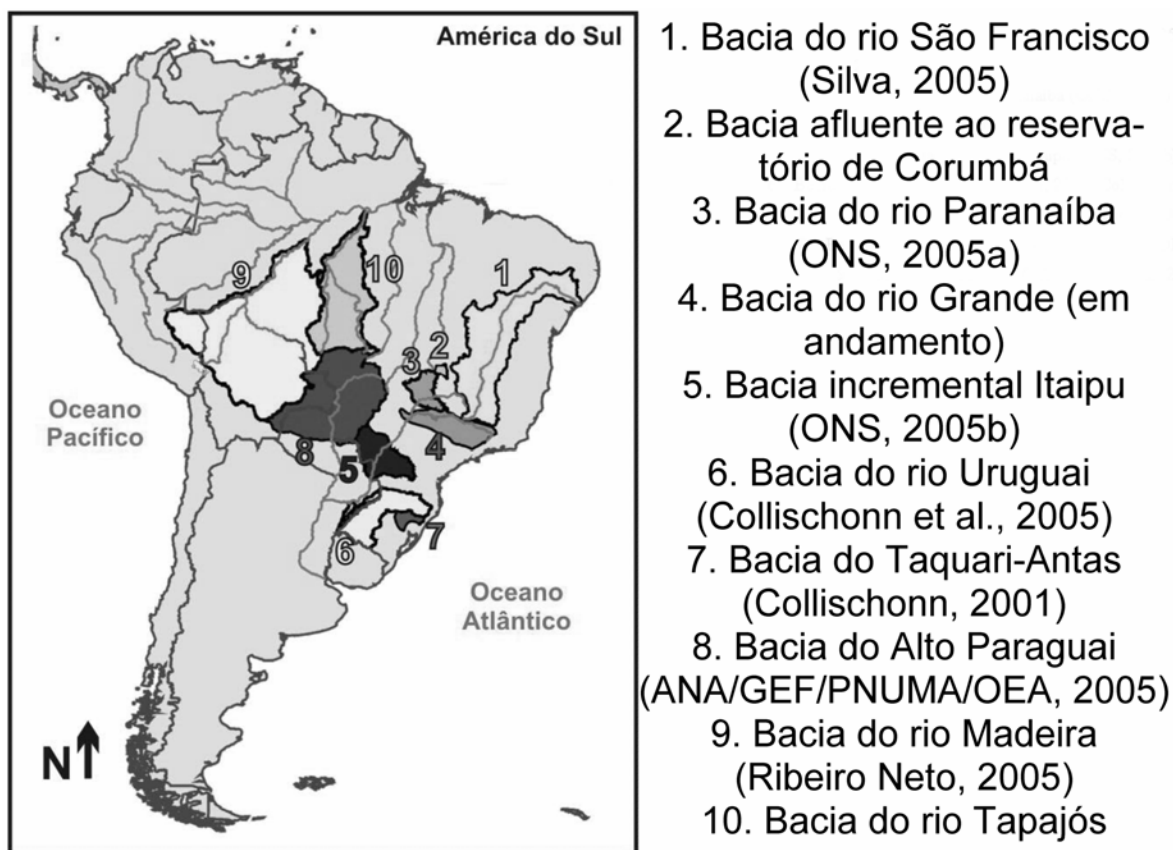


Figura 4. 1. Bacias sul-americanas em que o modelo MGB-IPH foi aplicado

Modelos com características e objetivos semelhantes têm sido apresentados por diferentes grupos de pesquisa internacionais, conforme trabalhos de Vörösmarty et al. (1991), Habets et al. (1999), Wang e Takahashi (1998), Arnell (1999), Yao e Terakawa (1999), Anderson e Kavvas (2002).

4.2. Uso das estimativas em simulação

Poucos autores de dedicaram à modelagem hidrológica usando dados de precipitação estimados por satélite como variável de entrada. Por um lado, o pequeno interesse em aplicações desse tipo se deve ao fato de que nos países desenvolvidos, que detêm a maior parte da produção científica, esse tipo de pesquisa tem um menor interesse, já que esses países geralmente dispõem de radares meteorológicos em bom número, não justificando o uso de metodologias por vezes mais complexas e com resultados geralmente piores. Por outro lado, trata-se de uma área relativamente nova de pesquisa, uma vez que essas estimativas são mais recentes, de forma que ainda há poucos pesquisadores se debruçando sobre o assunto. Alguns dos artigos produzidos nesse contexto serão brevemente comentados a seguir.

No artigo de Fekete et al. (2004), são testados seis diferentes conjuntos de dados de precipitação em um modelo simples de balanço hídrico global, em que a vazão média de longo período é resultado da diferença entre precipitação e evapotranspiração. Um dos conjuntos é obtido do satélite TRMM e outro da série GPCP, obtidos do satélite SSM/I. Os demais conjuntos de dados são produto de postos pluviométricos, radares ou reanálise de precisão meteorológica. Os autores obtiveram resultados muito similares entre os diversos conjuntos de dados, mostrando que as estimativas de satélite podem ser dados relativamente confiáveis. Porém, esse trabalho aborda a simulação hidrológica de forma apenas secundária, não sendo esse seu foco principal. Além disso, as estimativas de vazão são feitas em caráter global e com dados mensais, não considerando simulações em bacias hidrográficas específicas. Por fim, o modelo usado pelos autores é demasiado simplificado, servindo apenas como indicador aproximado.

Uma simulação mais refinada é encontrada no trabalho de Tsintsikidis et al. (1999), que utiliza precipitação estimada do satélite geostacionário METEOSAT como variável de entrada de um modelo hidrológico de forma a estimar vazão no rio Nilo. Os resultados são comparados com o modelo rodado com dados de precipitação interpolados de pluviômetros. Além do fato de realizar simulações em nível de bacia, diferentemente de Fekete et al. (2004), esse trabalho utiliza um modelo hidrológico mais robusto, composto por um módulo de balanço hídrico no solo e outro módulo de propagação em calha de rio. Os autores concluem que a resposta do modelo depende fortemente do tipo de dado de precipitação utilizado, bem como variam os valores das variáveis de estado tais como a umidade do solo calculada. Entretanto, uma ressalva a ser feita é que não são calculados coeficientes de aferição dos hidrogramas calculados com os hidrogramas medidos, impossibilitando uma comparação quantitativa dos resultados.

Talvez o trabalho mais abrangente a utilizar precipitação estimada por satélite em um contexto de modelagem chuva-vazão ainda seja o de Guetter et al. (1996). Esses autores usaram uma versão modificada do modelo Sacramento, discretizada por sub-bacias, para simular vazões diárias em uma bacia situada entre os estados de Minnesota e Iowa, nos Estados Unidos. Foram comparados os resultados de simulações com precipitação de pluviômetros e precipitação de satélite estimada de imagens VIS/IR da série GOES, obtidos em Tsonis et al. (1996). Os resultados foram comparados com hidrogramas medidos em sub-bacias com áreas entre 2.200 e 14.000 km². Para avaliação dos resultados, foram usados o coeficiente de correlação entre hidrogramas calculado e medido, o erro quadrático médio e o erro de volume. O modelo calibrado com dados de precipitação por satélite fornece resultados muito próximos, ainda que inferiores, ao modelo calibrado com dados interpolados a partir de pluviômetros. Mesmo a simulação realizada com precipitação de

satélite, porém com parâmetros obtidos para dados de pluviômetros, obteve bons resultados. Os próprios autores ressaltam que o modelo empregado é adequado apenas para bacias de cabeceira.

Por fim, um trabalho mais atual, semelhante ao proposto aqui, é o de Yilmaz et al. (2005). Neste trabalho, a exemplo do anterior, o modelo concentrado Sacramento é aplicado a duas pequenas bacias nos estados de Mississippi e Georgia. Três séries de dados de precipitação distintas são testadas, sendo uma proveniente de dados de pluviômetros, denominado MAPG, a segunda de radar (MAPX) e a última, obtida do sistema PERSIANN (MAPS). Esta última utiliza estimativas baseadas em imagens de infravermelho de satélites geoestacionários, posteriormente calibradas por meio de estimativas de satélite de órbita baixa. Os autores avaliam os resultados em termos de coeficiente de correlação e erro de volume entre hidrogramas observados e calculados. Nas duas bacias, os melhores resultados são obtidos com dados de precipitação medidos por pluviômetros, apesar da relativa escassez de postos pluviométricos nas duas bacias. Os resultados das simulações com chuva de radar e chuva de satélite são muito semelhantes entre si. Um resultado interessante obtido por esses autores é a subestimativa das vazões na estação fria pelo modelo MAPS, o que pode ser uma consequência da relativa incapacidade do satélite em estimar precipitação frontal/estratiforme. Por outro lado, na estação mais quente, o modelo MAPS superestima as vazões. Os autores concluem que há espaço para desenvolvimento no tema, e recomendam a comparação dos campos de precipitação em bacias fortemente instrumentadas. O estudo destes autores é, provavelmente, o que mais se aproxima do que se propõe fazer na presente pesquisa.

Restam, no entanto, diversos questionamentos e metodologias que aparentemente não foram testados, ou ao menos não foram encontrados na literatura. Nenhum trabalho ainda utilizou estimativas baseadas em sensores de microondas ou estimativas mistas de IR-MW, as quais aparentemente fornecem melhores resultados. Da mesma forma, os dados de precipitação por satélite não foram testados em modelos distribuídos por células, aplicados a grandes bacias hidrográficas, com áreas da ordem de várias dezenas de milhares de quilômetros quadrados.

5. Metodologia

5.1. Introdução

Imaginando uma bacia hipotética de médio porte, com apenas um pluviômetro dentro da área da bacia, podem ocorrer duas situações extremas:

- ocorre um evento intenso, de origem convectiva ou orográfica, numa pequena porção da bacia dentro da qual o pluviômetro se encontra (Figura 5. 1.a): através da extrapolação, a precipitação média na bacia será superestimada e o modelo conseqüentemente superestimará a vazão;
- ocorre um evento intenso, de origem convectiva ou orográfica, numa parcela da bacia, a qual no entanto não é controlada por um pluviômetro (Figura 5. 1.b): neste caso, pouca ou nenhuma chuva será estimada para alimentar o modelo hidrológico, o qual conseqüentemente não representará um evento de cheia adequadamente.

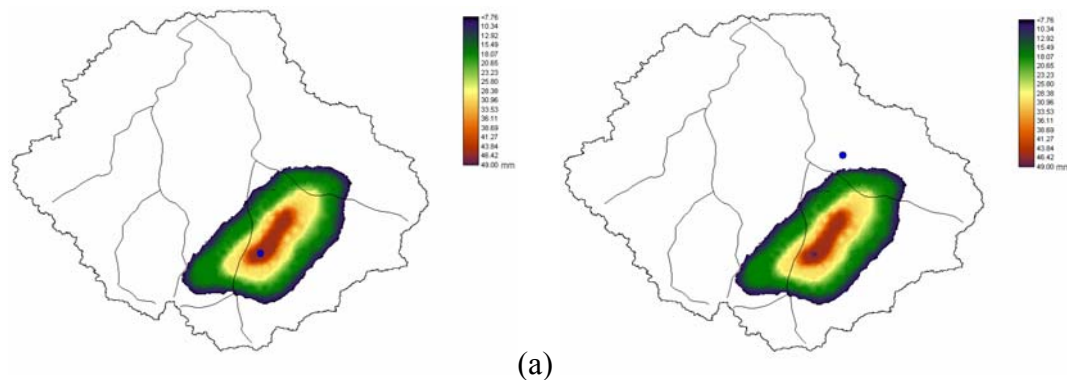


Figura 5. 1. Situações extremas que podem ocorrer em casos de baixa densidade de postos pluviométricos em uma bacia de médio ou grande porte (a) evento ocorrido em área na qual o pluviômetro se encontra, com conseqüente superestimativa da precipitação média; (b) evento ocorrido em área não controlada pelo pluviômetro, com conseqüente subestimativa da precipitação média sobre a bacia.

Infelizmente, bacias como a imaginada no parágrafo anterior ainda são realidade no Brasil. Na bacia do Alto Paraguai, por exemplo, existiria a necessidade de instalação de 67 postos pluviométricos para satisfazer as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), conforme Carvalho et al. (2004). Essa carência compromete o ajuste de modelos hidrológicos distribuídos, como verificado em ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004).

A metodologia aqui proposta procura combinar a característica de precisão das medidas de campo com a característica de boa representação espacial da estimativa de satélite, mesmo que pouco precisas.

5.2. Bacias analisadas

Foram realizados estudos de caso em duas grandes bacias brasileiras, com distintas características físicas e diferentes disponibilidades de dados. A primeira é a bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias, a qual conta com uma cobertura bastante boa de pluviômetros para os padrões brasileiros. Silva (2005) calibrou o modelo MGB-IPH nessa bacia, usando exclusivamente dados de estações pluviométricas, de forma que grande parte do trabalho prévio de geoprocessamento já se encontra efetuado.

Num segundo momento, dados de chuva estimados por satélite foram fornecidos como variável de entrada para o modelo aplicado a uma bacia com extrema escassez de dados pluviométricos. A bacia escolhida para isso foi a do rio Tapajós, localizada nos estados do Mato Grosso e Pará, que conta com cerca de 500.000 km² na sua foz. A densidade de postos de chuva na bacia é de cerca de 4.000 km² por estação. Porém, esse cálculo é preliminar, não tendo sido feita uma análise da disponibilidade real de dados em cada posto. Uma vez feita essa estimativa, a densidade de postos cai bastante. Mesmo que todos os postos estivessem operantes, esta densidade configuraria um quadro de extrema carência, ainda muito inferior ao recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) que é de 1.000 km² por posto, no caso de regiões com grande dificuldade de obtenção de dados.

Com essas 2 bacias, têm-se 2 cenários distintos de cobertura de dados pluviométricos. A bacia do São Francisco até a UHE Três Marias apresenta uma cobertura razoável de postos, enquanto que a do Tapajós tem falta aguda de dados pluviométricos dentro do sua área. Portanto, a primeira bacia funciona como um aferidor das estimativas de precipitação por satélite, pois a grande cobertura de pluviômetros permite que se chegue muito próximo a um ideal de “verdade do solo” (*ground-truth*). Já a segunda é um exemplo de aplicação onde as estimativas de precipitação por satélite se fazem realmente necessárias, ou seja, em bacias pouco monitoradas.

5.3. Fontes de dados

Como visto, existem diversos satélites que oferecem a possibilidade de estimar precipitação a partir do espaço. O dado escolhido para avaliação no contexto de simulação hidrológica chuva-vazão é o produto 3B42 do satélite TRMM, por várias razões. Em primeiro lugar, por suas resolução temporal e espacial adequada. Em segundo lugar, porque usa informações tanto de sensores de infravermelho como de microondas, sendo considerado por vários autores como uma das estimativas mais confiáveis. Essa estimativa é fornecida em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ em arquivos *raster* com extensão *hdf* (*Hierarchical Data Format*), em resolução espacial de $0,25^\circ$ e temporal de 3 horas.

Os dados de precipitação diária sobre as duas bacias foram obtidos junto ao banco de dados *Hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA).

Os dados fluviométricos nos postos de controle da simulação chuva-vazão foram obtidos igualmente junto ao referido banco de dados. Adicionalmente, foi obtida de Silva (2005) a série de vazões naturais na UHE Três Marias, calculadas a partir de balanço hídrico de reservatório, considerando a vazão defluente do reservatório e cálculos aproximados da evaporação do lago e da demanda para usos consuntivos. A vazão natural é a vazão que existiria no local do barramento caso o mesmo não existisse. Já os dados de vazão do posto de Itaituba, no rio Tapajós, foram obtidos junto ao banco de dados do projeto HYBAM, do Observatório de Pesquisas Ambientais da França (Observatoire de Recherche pour l'Environnement), o qual está disponível em <http://www.ore-hybam.org/>.

Os dados hidrometeorológicos, necessários para a determinação da taxa de evapotranspiração sobre as células da bacia, foram obtidos junto ao banco de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE).

Já os dados para elaboração de modelos numéricos de terreno, necessários para definição da rede de drenagem discretizada do modelo, foram obtidos junto ao banco de dados do serviço geológico dos EUA (<http://seamless.usgs.gov/>). A classificação de uso do solo, por sua vez, será feita a partir de imagens de satélite obtidas junto à Universidade de Maryland (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu/>). Os dados de tipo de solo serão obtidos junto à FAO e no RADAMBRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1983).

5.4. Procedimento de interpolação dos dados de precipitação

O modelo hidrológico de grandes bacias (MGB) será rodado considerando três diferentes arquivos de entrada de dados pluviométricos:

- a) utilizando dados interpolados de pluviômetros;
- b) utilizando dados estimados de satélite diretamente;
- c) utilizando dados pluviométricos interpolados com base nas estimativas de satélite.

Os procedimentos de interpolação são detalhados a seguir.

5.4.1. Interpolação dos dados de pluviômetros

Para a interpolação dos dados de chuva dos pluviômetros sobre as células da bacia, será feito uso do programa INTERPLU (Collischonn, 2001). A saída do programa INTERPLU é um arquivo contendo a seqüência de planos de informação com a precipitação em cada dia em cada célula. O plano de informação é armazenado de forma compacta, mantendo apenas as células que fazem parte da bacia. Com essa metodologia de preparação de dados, é economizado algum tempo de processamento durante a execução do modelo hidrológico, porque este apenas lê os dados já interpolados para cada célula.

A interpolação é feita através do método do inverso da distância ao quadrado:

$$\hat{P} = \sum_{i=1}^N w_i \cdot P_i \quad \text{e} \quad (\text{eq. 5.1})$$

$$w_i = \frac{D_i^{-2}}{\sum_{j=1}^N D_j^{-2}}, \quad (\text{eq. 5.2})$$

onde \hat{P} é a chuva interpolada na célula, P_i é a precipitação no posto pluviométrico “i”, D_i é a distância entre o centro da célula e o posto “i” e N é o número de postos pluviométricos considerados.

O programa identifica inicialmente, para cada célula, a distância ao posto pluviométrico mais próximo, considerando na interpolação apenas postos que estejam situados a um raio igual ou menor a duas vezes esta distância, economizando assim algum tempo de processamento.

O conjunto de dados de entrada interpolado a partir dos pluviômetros é doravante denominado *PLU* e o modelo simulado com esse conjunto é denominado MGB-PLU.

5.4.2. Interpolação dos dados de precipitação estimados por satélite sobre as células do modelo

O processo de conversão dos dados do formato *hdf*, no qual se encontram os dados de precipitação por satélite, para o formato de texto consome bastante tempo, uma vez que os mesmos se encontram em intervalos de 3 horas, compactados para o formato *zip*. Assim, um ano de dados representa um volume de 2920 arquivos. Para aplicação do modelo com discretização diária, é necessária ainda uma integração temporal. Foi desenvolvido um programa em MATLAB para descompactar e ler arquivos em batelada, integrá-los temporalmente e escrever a série de dados diários em um arquivo texto para cada *pixel*.

O modelo hidrológico distribuído adota discretização espacial de $0,1^\circ$. Já os dados de precipitação do satélite TRMM são disponíveis com resolução de $0,25^\circ$. Portanto, é necessário um aumento da resolução da estimativa. Para isso, faz-se uma interpolação por inverso do quadrado da distância, a exemplo do item anterior, considerando a existência de um pluviômetro fictício no centro de cada *pixel* do TRMM sobre a bacia considerada.

O conjunto de dados de entrada interpolado a partir da estimativa do satélite TRMM é doravante denominado *SAT* e o modelo simulado com esse conjunto é denominado MGB-SAT.

5.4.3. Interpolação dos postos pluviométricos com base nas estimativas de satélite

Conforme salientado anteriormente, as estimativas de precipitação por satélite fornecem boa representatividade espacial dos eventos de chuva, porém erram quando comparados com valores de campo. As estimativas brutas poderiam ser fornecidas como dado de entrada ao modelo hidrológico distribuído, porém a calibração desse modelo distorceria os parâmetros de forma a obter um bom ajuste, perdendo-se assim uma significativa parte da física do processo. Dessa forma, o ideal é

corrigir os dados de satélite amparado em medições de campo. A partir dessa constatação, três cenários se configuram:

- a estimativa de chuva do satélite nos *pixels* onde se encontram os pluviômetros coincide aproximadamente com o valor medido nos mesmos (Figura 5. 2.a). Essa situação seria ideal, pois indicaria uma representação espacial perfeita da precipitação, porém dificilmente tal situação acontece de fato;
- a estimativa de chuva do satélite nos *pixels* onde se encontram os pluviômetros não coincide com o valor medido, porém existe uma boa correlação entre as medidas (Figura 5. 2.b). Nesse caso, o campo de dados de precipitação poderia ser corrigido por meio da equação de correlação correspondente;
- a estimativa de chuva do satélite nos *pixels* onde se encontram os pluviômetros não coincide com o valor medido, e tampouco existe boa correlação entre os valores (ora o satélite subestima o valor pontual, ora o superestima, de forma que o erro é aleatório, Figura 5. 1.c). Essa é a situação menos desejada, em que provavelmente seria necessária uma interpolação dos resíduos para utilizar os dados na simulação em um modelo hidrológico distribuído.

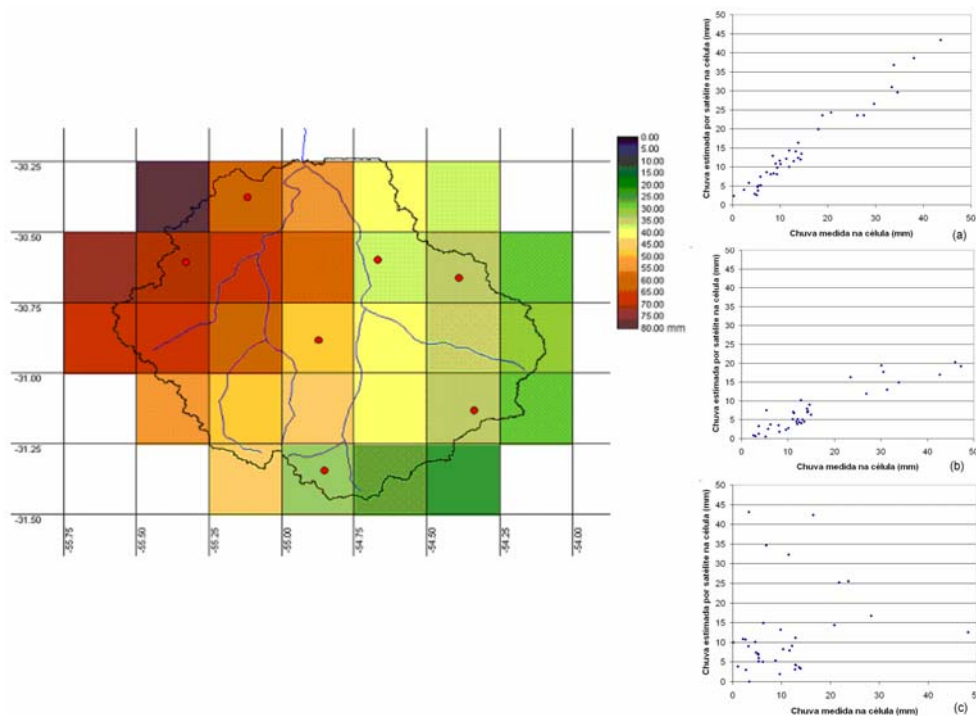


Figura 5. 2. Situações possíveis de correlação entre precipitação medida em campo e precipitação estimada por satélite para um intervalo de tempo qualquer (a) coincidência dos valores (b) boa correlação entre os valores (c) nenhuma correlação entre os valores. Os pontos indicam a localização de postos pluviométricos e a escala de cores o volume precipitado estimado pelo satélite.

Ao longo de vários intervalos de tempo e nas diversas bacias, a tendência é que prevaleça a terceira situação, em que não há correlação clara entre os dados, de forma que um procedimento de interpolação dos resíduos é mais indicado. Para isso, far-se-á uma adaptação do método utilizado por Barrera (2005), efetuando uma combinação entre estimativas de satélite com medições reais.

Na realidade, a questão da interpolação combinada é apenas de ordem semântica. Tanto se pode encará-la como uma correção da distribuição espacial das medições dos pluviômetros através de dados estimados por satélite, como do contrário, ou seja, uma correção das estimativas de satélite baseadas em medições de campo.

Reescrevendo a equação 3.5, o termo de flutuação (ou diferença entre a medição do pluviômetro e a estimativa no pixel em que o mesmo se encontra) é dado por:

$$P'(x_i, y_i) = P(x_i, y_i) - P_m(x_i, y_i) \quad (\text{eq. 5.3})$$

com $P'(x_i, y_i)$ sendo o termo de flutuação no local com pluviômetro; $P(x_i, y_i)$ sendo a precipitação medida no pluviômetro situado em (x_i, y_i) ; e $P_m(x_i, y_i)$ a precipitação estimada pelo satélite no *pixel* que contém (x_i, y_i)

Conceitualmente, a metodologia consiste em interpolar o termo de flutuação P' , ao invés da precipitação pontual medida $P(x_i, y_i)$, porque se considera que a variabilidade do primeiro é menor do que a da segunda. Assim:

$$\hat{P}'(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot P'(x_i, y_i) \quad (\text{eq. 5.4})$$

com $\hat{P}'(x, y)$ sendo o termo de flutuação (ou resíduo) interpolado no ponto (x, y) .

Num ponto (x, y) qualquer, afastado de um pluviômetro, se faz o caminho inverso, ou seja:

$$\hat{P}(x, y) = P_m(x, y) + \hat{P}'(x, y) \quad (\text{eq. 5.5})$$

As figuras a seguir exemplificam o método adaptado que será usado.

Dada uma bacia de médio ou grande porte, onde, num dia qualquer, há medições em alguns pluviômetros, representados pelos pontos em vermelho, bem como um campo de estimativas de precipitação por satélite em células ou *pixels* de $0,25^\circ$, representadas pela escala de cores (Figura 5.3).

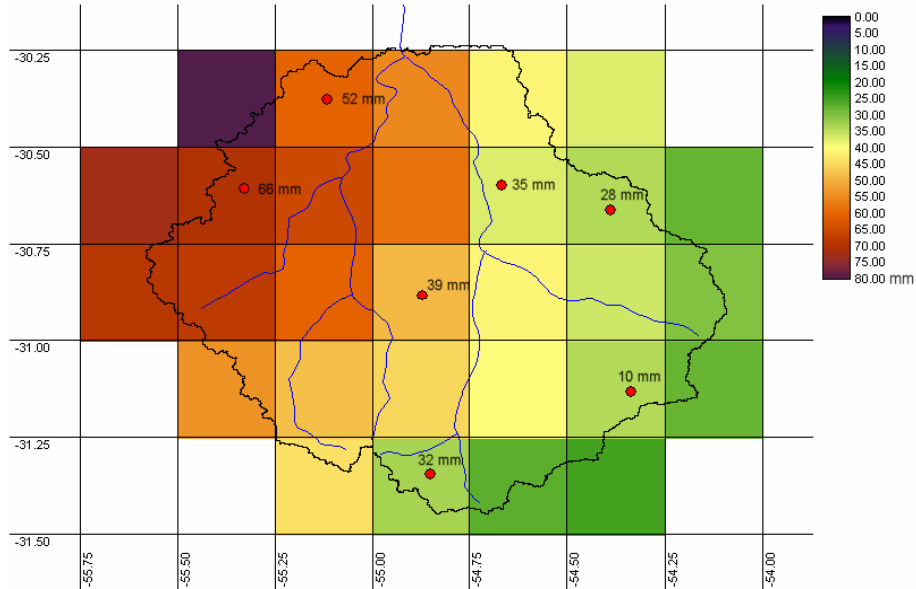


Figura 5.3. Bacia com dados de precipitação estimados em células de $0,25 \times 0,25^\circ$ (escala de cores) e dados de pluviômetros em alguns locais.

- primeiramente, são calculadas as diferenças entre estimativas de satélite e medições de pluviômetros, nos *pixels* onde estas últimas estão disponíveis (Figura 5.4);

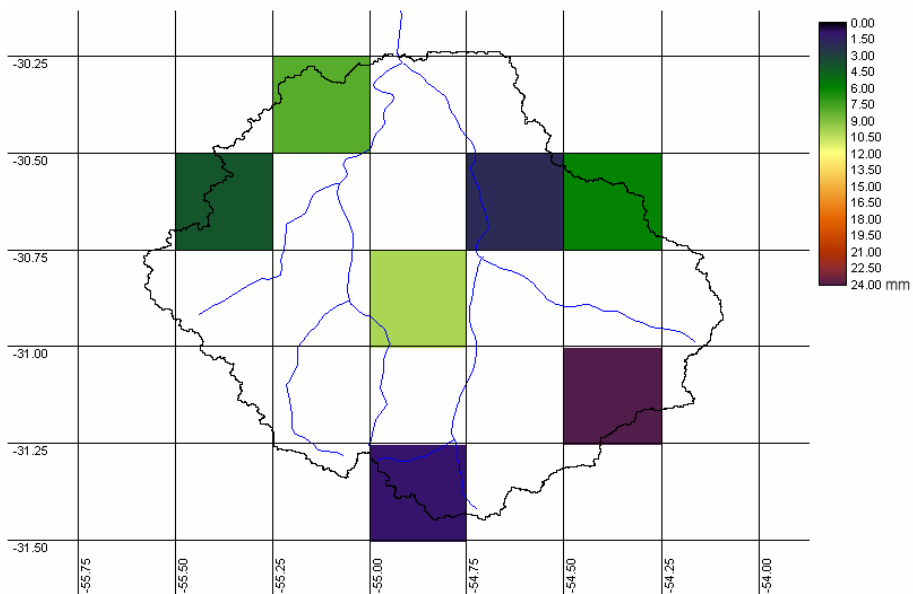


Figura 5.4. Diferenças entre estimativas de satélite e medições de campo nas células onde as últimas estão disponíveis.

- as diferenças são interpoladas para os demais *pixels* pelo método do inverso da distância ao quadrado, gerando uma distribuição das diferenças sobre a bacia, conforme Figura 5. 5.

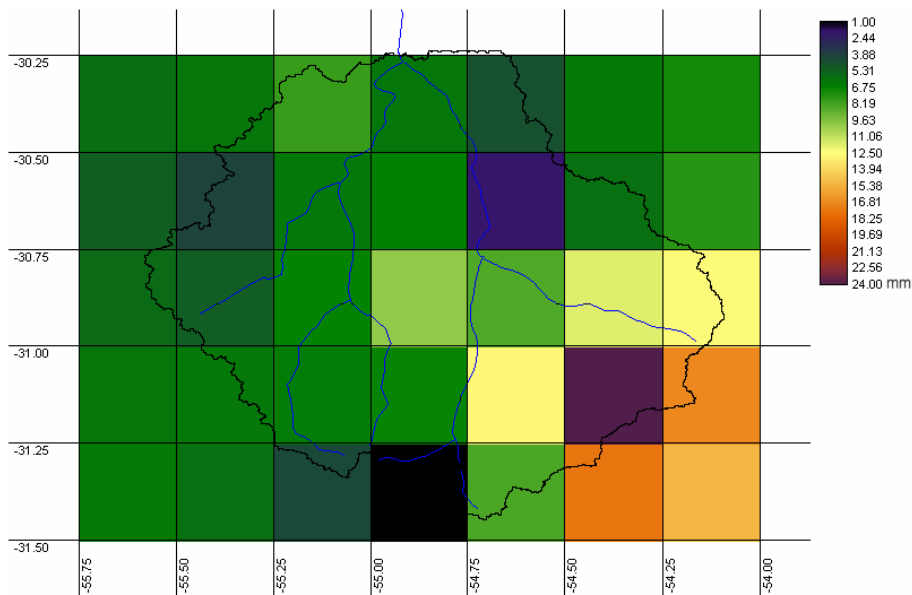


Figura 5. 5. Distribuição interpolada das diferenças entre estimativas de satélite e medições de campo.

- a distribuição obtida é subtraída do campo inicial de estimativas do satélite, resultando um campo de precipitação que incorpora informações tanto dos pluviômetros quanto do satélite (Figura 5. 6). Este procedimento é realizado para todos os intervalos de tempo da simulação.

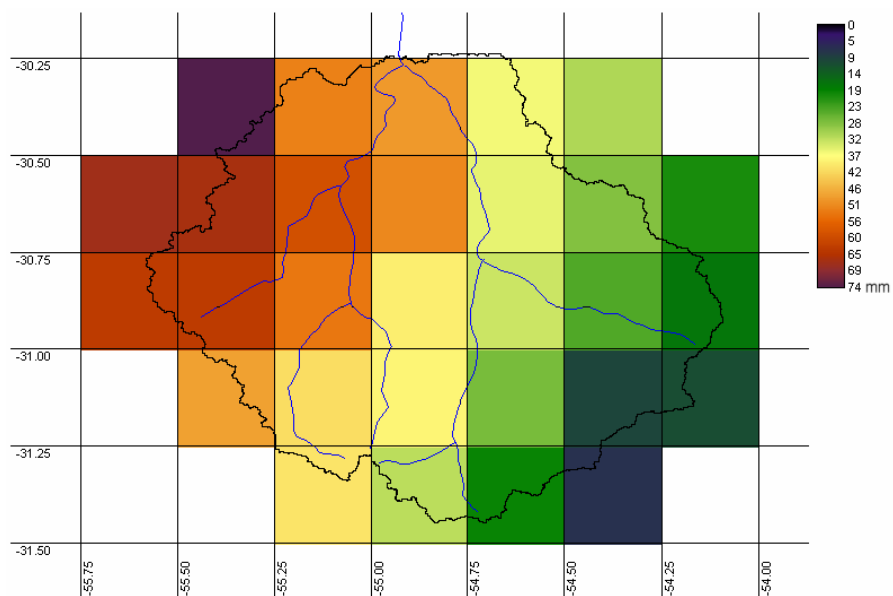


Figura 5. 6. Campo de precipitação ajustado sobre a bacia

Dado que λ_i tende a 1 quando a distância tende a zero, o procedimento de interpolação combinada apresentado assegura que um *pixel* contendo um posto pluviométrico assume o valor de precipitação deste posto (ou uma média ponderada dos valores, caso haja mais do que um posto dentro de um mesmo *pixel*). Por outro lado, a precipitação em *pixels* distantes de postos é determinada tanto pela informação do satélite quanto pela dos pluviômetros mais próximos. Esse procedimento se justifica na medida em que se espera que as diferenças tenham variabilidade menor do que as lâminas precipitadas

A metodologia exposta possui uma limitação, na medida em que podem surgir valores de precipitação negativa, caso o valor interpolado da diferença em determinado *pixel* seja maior do que a precipitação estimada pelo satélite no mesmo *pixel*. Esta é uma situação que pode ocorrer esporadicamente. Neste caso, o valor da precipitação é corrigido para zero.

O conjunto de dados de entrada obtido por interpolação combinada entre dados de pluviômetros e estimativas do satélite TRMM é doravante denominado *MISTO* e o modelo simulado com este conjunto é denominado MGB-MISTO.

5.5. Testes preliminares

Antes de se proceder à simulação no modelo hidrológico, pretende-se fazer algumas comparações entre as estimativas de precipitação oriundas dos satélites com as medições nos pluviômetros. Essas comparações correspondem ao primeiro objetivo deste trabalho e além disso, é importante verificar se os dados do TRMM são minimamente consistentes, para que as simulações realizadas posteriormente no modelo hidrológico não conduzam a resultados pouco plausíveis ou a valores de parâmetros sem conexão física com a realidade da bacia.

Mais especificamente, as análises pretendem verificar:

- a) em que magnitude as estimativas diferem;
- b) se as diferenças são sistemáticas ou aleatórias;
- c) se existe defasagem entre as estimativas.

As comparações serão feitas de duas formas, a saber:

COMPARAÇÃO ENTRE A CHUVA MÉDIA SOBRE AS BACIAS:

A partir das séries de chuva interpoladas dos pluviômetros e do satélite, foi possível extrair médias diárias da precipitação sobre a bacia inteira. Foram feitas comparações entre as séries de chuvas médias e entre a precipitação acumulada total e mensal, bem como a dispersão entre chuva média de pluviômetros e do satélite no período entre 2/1/1998 e 30/11/2004,

COMPARAÇÃO ENTRE OS CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO:

Mais do que observar as diferenças médias em termos de bacia hidrográfica, é importante verificar como os campos de precipitação variam no espaço. Para cada célula do modelo, foi calculada uma série de precipitações interpolada a partir dos dados dos pluviômetros. Da mesma forma, calculou-se uma série interpolada a partir dos *pixels* do TRMM mais próximos. Essas interpolações geraram grades de $0,1 \times 0,1^\circ$, que é também a resolução do modelo hidrológico utilizado. Assim, foi possível calcular estatísticas comparativas em cada célula, possibilitando a identificação de regiões na bacia onde a similaridade entre as precipitações medidas pelos diferentes instrumentos (pluviômetros e satélite) seja maior ou menor.

Uma estatística simples é o erro relativo de volume total precipitado. Este erro é dado por:

$$\text{Errv}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \text{Psat}_i - \text{Pplu}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Pplu}_i} \quad (\text{eq. 5.6})$$

Onde $\sum \text{Psat}_i$ é o somatório das precipitações interpoladas a partir do TRMM na célula i , $\sum \text{Pplu}_i$ é o somatório das precipitações interpoladas a partir dos pluviômetros na célula i e n é número de dias de comparação, relativos ao período de 2/1/1998 a 30/11/2004

O erro de volume, no entanto, é uma estatística insuficiente para representar diferenças na variação temporal das precipitações. Nesse caso, um coeficiente mais adequado é o coeficiente de correlação, que é dado por:

$$R = \frac{\text{cov}(P_{\text{plu}}, P_{\text{sat}})}{s_{\text{plu}} \cdot s_{\text{sat}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{sat}_i} - \overline{P_{\text{sat}}}) \cdot (P_{\text{plu}_i} - \overline{P_{\text{plu}}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{\text{sat}_i} - \overline{P_{\text{sat}}})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_{\text{plu}_i} - \overline{P_{\text{plu}}})^2}} \quad (\text{eq. 5.7})$$

onde P_{sat_i} é a precipitação interpolada a partir de estimativas do TRMM no intervalo de tempo i , P_{plu_i} é a precipitação interpolada a partir de medições dos pluviômetros no intervalo i , $\text{Cov}(P_{\text{plu}}, P_{\text{sat}})$ é a covariância (medida de quanto P_{plu} e P_{sat} variam juntas) e s_{plu} e s_{sat} são variâncias de P_{plu} e P_{sat} ;

5.6. Uso dos diferentes conjuntos no modelo

As estimativas de precipitação do satélite TRMM estão disponíveis apenas a partir do ano de 1998, e dados de vazão e precipitação em solo foram obtidos apenas até novembro de 2004. Para não comprometer uma parcela significativa de um período já relativamente curto (em termos de hidrologia de grandes bacias) com o ajuste das condições iniciais do modelo, optou-se por iniciar todas as simulações hidrológicas em 1º de janeiro de 1991, usando exclusivamente dados de pluviômetros desta data até 31/12/1997. Dessa data em diante, as simulações ocorreram com os diferentes conjuntos de dados, sendo que os coeficientes de avaliação do modelo, bem como os erros padrões e erros relativos da chuva, foram calculados no período entre 2/1/1998 e 30/11/2004.

5.6.1. O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH)

O modelo hidrológico distribuído utilizado é denominado MGB-IPH, e foi desenvolvido para a simulação de grandes bacias. A estrutura do modelo, descrito aqui, foi baseada na estrutura dos modelos LARSIM e VIC-2L, com algumas adaptações. O módulo de balanço de água no solo foi simplificado, o módulo de evapotranspiração foi desenvolvido de acordo com os textos de Shuttleworth (1994), e a metodologia de Muskingun-Cunge, na forma descrita por Tucci (1998), foi utilizada no módulo de escoamento na rede de drenagem.

O modelo é composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e escoamento na rede de drenagem.

A bacia é sub-dividida em células quadradas ligadas entre si por canais de drenagem. Nas aplicações realizadas até agora a discretização tem sido de, aproximadamente, 10 x 10 km. Em cada

célula as características de uso de solo, cobertura vegetal e tipo de solo são sintetizadas nos denominados blocos (Figura 5. 7). Uma célula pode ter em sua área interna 10% de florestas, 60% de pastagens, 20 % de pastagens em solos rasos (litólicos); 5% de uso urbano e 5% de superfície líquida, como um lago. Cada uma destas frações de uso é denominada bloco. Um bloco é obtido pela combinação de informações obtidas em mapas e imagens de satélite classificadas, como tipos de solo, vegetação e uso do solo. Na estrutura do modelo, o bloco é caracterizado por uma série de parâmetros, como o armazenamento máximo no solo e o índice de área foliar (IAF) da vegetação.

Os dois primeiros algoritmos ou módulos do modelo (balanço de água no solo e evapotranspiração) ocorrem em cada bloco de cada célula, o terceiro módulo (escoamento na célula) é o processo horizontal de fluxo no interior da célula até a rede de drenagem e o quarto módulo é o processo horizontal de fluxo ao longo da rede de drenagem.

As variáveis precipitação, temperatura, umidade relativa, insolação, velocidade do vento e pressão atmosférica em uma célula são obtidas por interpolação dos postos com dados mais próximos.

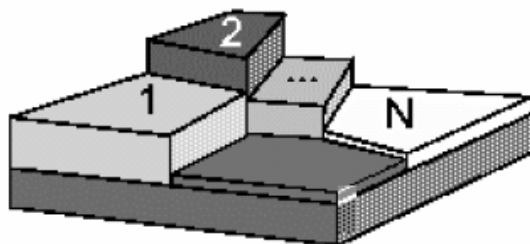


Figura 5. 7. Célula do modelo dividida em N blocos de uso, tipo e cobertura do solo.

BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

O balanço hídrico no solo é realizado de maneira independente para cada bloco de uso, utilizando as características e os parâmetros do bloco. A Equação A1 descreve o balanço na camada de solo.

$$W_2 = W + P - T - D_{SUP} - D_{INT} - D_{BAS} + D_{cap} \quad (\text{eq. A1})$$

onde: W_2 (mm) é o armazenamento na camada de solo ao final do intervalo de tempo; W (mm) é o armazenamento na camada de solo ao início do intervalo de tempo; P (mm) é a precipitação incidente (PI) menos a interceptação (I) ao longo do intervalo de tempo; T (mm) é a

evapotranspiração da água da camada de solo ao longo do intervalo de tempo; D_{SUP} (mm) é o escoamento superficial ao longo do intervalo de tempo (drenagem rápida); D_{INT} (mm) é o escoamento sub-superficial ao longo do intervalo de tempo (drenagem lenta); D_{BAS} (mm) escoamento subterrâneo ao longo do intervalo de tempo (drenagem muito lenta); D_{cap} (mm) é o fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo. O intervalo de tempo considerado é de 1 dia.

O chamado “escoamento superficial” é, na realidade, um escoamento rápido, ou direto. O termo D_{SUP} , que representa o escoamento superficial, é calculado considerando que toda a chuva que cair sobre uma porção de solo já saturada de umidade irá gerar escoamento superficial. O modelo considera que existe uma relação entre W , que é o estado de armazenamento atual da camada de solo, e a porcentagem de área saturada.

O escoamento superficial, ou direto, é calculado por:

$$D_{SUP} = P - (W_m - W), \text{ quando } \delta \leq 0 \quad (\text{eq. A2})$$

$$D_{SUP} = P - (W_m - W) + W_m \cdot (\delta)^{b+1}, \text{ quando } \delta > 0 \quad (\text{eq. A3})$$

$$\text{onde } \delta = \left[\left(1 - \frac{W}{W_m} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{P}{(b+1) \cdot W_m} \right]$$

e W (mm) é o armazenamento na camada do solo; W_m (mm) é o armazenamento máximo na camada do solo; b (adimensional) é um parâmetro adimensional que representa a não-uniformidade da capacidade de armazenamento do solo no bloco; P (mm) é a precipitação menos a interceptação e D_{SUP} (mm) é o escoamento superficial (drenagem rápida).

O escoamento sub-superficial é obtido por uma relação não linear com o armazenamento na camada de solo (equação A4), baseada na equação da condutividade hidráulica do solo de Brooks e Corey (Rawls et al., 1993 *apud* Collischonn, 2001).

$$D_{INT} = K_{INT} \cdot \left(\frac{W - W_Z}{W_m - W_Z} \right)^{(3+2/XL)} \quad (\text{eq. A4})$$

Nesta relação W_Z (mm) é o limite de armazenamento para haver escoamento sub-superficial; K_{INT} (mm) é o parâmetro de escoamento sub-superficial; XL (adimensional) é o índice de

porosidade do solo (parâmetro) e D_{INT} (mm) é o escoamento sub-superficial. O parâmetro K_{INT} é calibrado e o índice XL é fixado em 0,4, que é uma média para diferentes tipos de solo.

O escoamento subterrâneo é calculado por uma equação simples, linear com relação ao armazenamento no solo.

$$D_{BAS} = K_{BAS} \cdot \frac{(W - W_c)}{(W_m - W_c)} \quad (\text{eq. A5})$$

onde: W_c (mm) é o limite de armazenamento no solo para haver escoamento subterrâneo; K_{BAS} (mm) é o parâmetro de escoamento subterrâneo e D_{BAS} (mm) é o escoamento subterrâneo.

Quando W é menor do que W_z , não há escoamento sub-superficial, e quando W é menor do que W_c , não há escoamento subterrâneo. Normalmente W_z e W_c são fixados em um décimo de W_m , e não são considerados na calibração.

Em alguns casos, quando o armazenamento do solo é baixo, pode ocorrer a transferência de água do reservatório subterrâneo para a camada de solo. Esta possibilidade visa permitir ao modelo simular situações em que as águas subterrâneas voltem a ser disponibilizadas para a evapotranspiração. A equação A6 descreve o fluxo ascendente.

$$D_{cap} = \frac{W_c - W}{W_c} \cdot DM_{cap} \quad (\text{eq. A6})$$

onde: W_c (mm) é o limite de armazenamento para haver fluxo ascendente; D_{cap} (mm) fluxo ascendente e DM_{cap} (mm) máximo fluxo ascendente para o solo (parâmetro do modelo).

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O modelo calcula a evaporação e transpiração pela equação de Penman – Monteith. Esta formulação tem uma forte base física, o que permite representar as alterações de evapotranspiração associadas às mudanças de uso do solo, embora para isso sejam necessários dados específicos para cada tipo de vegetação, que não estão normalmente disponíveis.

ESCOAMENTO NA CÉLULA

Os termos D_{SUP} , D_{INT} e D_{BAS} , referem-se ao escoamento que deixa a camada de solo. Este escoamento não atinge instantaneamente a rede de drenagem, mas sofre retardo e amortecimento ainda no interior da célula. Estes efeitos são representados no modelo pela passagem do escoamento

por reservatórios lineares. O escoamento superficial vai para o reservatório superficial, o escoamento sub-superficial vai para o reservatório sub-superficial e o escoamento subterrâneo vai para o reservatório subterrâneo. É nestes reservatórios que o escoamento dos diferentes blocos de uso e cobertura vegetal se encontram.

Cada um dos reservatórios é representado matematicamente por uma equação de reservatório linear simples. A soma dos valores de Q_{SUP} , Q_{INT} e Q_{BAS} é o escoamento da célula.

$$Q_{SUP} = \frac{1}{TK_S} \cdot V_{SUP} \quad (\text{eq. A7})$$

$$Q_{INT} = \frac{1}{TK_I} \cdot V_{INT} \quad (\text{eq. A8})$$

$$Q_{BAS} = \frac{1}{TK_B} \cdot V_{BAS} \quad (\text{eq. A9})$$

onde: Q_{SUP} ($m^3 \cdot s^{-1}$) é a vazão de saída do reservatório superficial; Q_{INT} ($m^3 \cdot s^{-1}$) é a vazão de saída do reservatório sub-superficial; Q_{BAS} ($m^3 \cdot s^{-1}$) é a vazão de saída do reservatório subterrâneo; V_{SUP} (m^3) é o volume no reservatório superficial; V_{INT} (m^3) é o volume no reservatório sub-superficial; V_{BAS} (m^3) é o volume no reservatório subterrâneo; TK_S (s) parâmetro de retardo do reservatório superficial; TK_I (s) parâmetro de retardo do reservatório sub-superficial; TK_B (s) parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo.

O valor do parâmetro TK_B pode ser obtido analisando os períodos de recessão do hidrograma e em alguns locais da bacia. As equações A10 e A11 mostram como é obtido o valor de TK_B a partir de dados observados.

$$TK_B = C_B \cdot 86400 \quad (\text{eq. A10})$$

$$C_B = \frac{ND}{\ln\left(\frac{Q_{ND}}{Q_0}\right)} \quad (\text{eq. A11})$$

onde: C_B [dias] é o parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo; ND é o número de dias do período de recessão do hidrograma; Q_0 é a vazão no início da recessão e Q_{ND} é a vazão no final da recessão.

Os valores de TK_S e TK_I são obtidos considerando as características do relevo no interior da célula. A calibração é complementar a um processo de regionalização que relaciona os parâmetros de retardo às características do relevo no interior da célula. Para isto é necessário contar com um modelo numérico do terreno com resolução espacial bastante inferior à resolução espacial do modelo hidrológico.

Para cada célula do modelo é calculado um tempo de retardo característico, que é corrigido durante a calibração por um coeficiente de ajuste adimensional. O tempo de retardo característico é obtido pela equação de Kirpich, utilizando a diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo do MNT encontrados dentro da célula do modelo considerada.

$$TK_S = C_S \cdot T_{ind} \quad (\text{eq. A12})$$

$$TK_I = C_I \cdot T_{ind} \quad (\text{eq. A13})$$

onde: T_{ind} (s) é o tempo de retardo característico da célula; C_S é um parâmetro adimensional para calibração do escoamento superficial e C_I é um parâmetro adimensional para calibração do escoamento sub-superficial.

$$T_{ind} = 3600 \cdot \left(0,868 \cdot \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (\text{eq. A14})$$

onde: L (km) é a largura da célula e ΔH (m) é a diferença de altura entre os extremos mais alto e mais baixo da célula.

Os tempos de retardo do escoamento no interior da célula nada tem a ver com a propagação ao longo da célula. As Equações A12 a A13 servem para calcular a propagação do escoamento gerado no interior da célula. A propagação através dos principais rios é realizada de forma independente como se descreve a seguir.

ESCOAMENTO NA REDE DE DRENAGEM

O modelo realiza a propagação nos trechos de rio utilizando o método de Muskingum-Cunge (Tucci, 1998), que relaciona a vazão de saída de um trecho de rio em um intervalo de tempo qualquer, às vazões de entrada e saída no intervalo de tempo anterior e à vazão de entrada no intervalo atual.

Os parâmetros do modelo Muskingum-Cunge são calculados com base nos dados de comprimento, declividade, rugosidade e largura média dos trechos de rio. O comprimento e a declividade são obtidos de mapas topográficos. A largura é obtida com base em uma relação com a área de drenagem válida para a bacia e a rugosidade é estimada com base em observações locais, fotografias e informações sobre material do leito.

O intervalo de tempo diário utilizado no modelo é sub-dividido em intervalos menores durante a propagação por Muskingum-Cunge na rede de drenagem, considerando o intervalo de tempo ideal para a propagação apresentar precisão no tempo viagem e no amortecimento do hidrograma.

CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS

A calibração de um modelo hidrológico distribuído é, muitas vezes, citada como a etapa mais trabalhosa da utilização de um modelo deste tipo. Entretanto, ao longo das experiências anteriores no uso do modelo MGB-IPH, foi desenvolvida uma eficiente metodologia de calibração baseada em dois pontos principais: 1) relação direta entre os parâmetros e as classes de solos e de vegetação identificadas em mapas e imagens de satélite (Collischonn, 2001); e 2) otimização dos parâmetros para cada classe utilizando um programa computacional baseado em algoritmos genéticos (Yapo et al., 1998; Collischonn, 2001; Collischonn e Tucci, 2003).

O algoritmo de otimização utilizado para a calibração dos parâmetros é o algoritmo MOCOM-UA, desenvolvido na Universidade do Arizona (Yapo et al., 1998). Trata-se de um algoritmo de otimização multi-objetivo que permite calibrar o modelo considerando diferentes aspectos do ajuste entre hidrogramas observado e calculado (Collischonn e Tucci, 2003). As funções-objetivo são apresentadas na seção 5.6.4.

5.6.2. Verificação do modelo com parâmetros calibrados em período anterior

Um conjunto de parâmetros do modelo MGB-IPH para a bacia do São Francisco já foi determinado por Silva (2005), como apresentado anteriormente. Esse autor calibrou o modelo no período de 1977 a 1986, usando dados de pluviômetros como variável de entrada. Considerou-se que uma análise interessante seria efetuar a verificação do modelo com esses parâmetros em anos recentes, com os diferentes conjuntos de dados de entrada (*PLU*, *SAT*, e *MISTO*). Essa análise é interessante pois, por mais físico que possa ser o modelo, sempre existirão distorções nos

parâmetros advindas de erros nos dados e na metodologia de interpolação. A idéia é verificar o quanto essas distorções favorecem (ou não) o resultado do modelo MGB-PLU aplicado em outro período.

Esta verificação será realizada apenas para essa bacia, visto que o modelo para a bacia do Tapajós não se encontrava previamente calibrado.

5.6.3. Calibração do modelo com os diferentes conjuntos de dados

Esta é a análise principal do trabalho e visa verificar efetivamente se as estimativas de precipitação por satélite são úteis num contexto de simulação chuva-vazão e podem ser empregadas num modelo deste tipo, eventualmente fornecendo resultados melhores do que os dados pluviométricos convencionais.

Para cada conjunto de dados, cada bacia será calibrada no período de janeiro de 1998 a novembro de 2004, por meio de um esquema de algoritmos genéticos, descrito brevemente no anexo 1. A calibração se dará sub-bacia por sub-bacia, de montante para jusante. Ao fim, os coeficientes de avaliação do modelo nos postos mais importantes de cada bacia são comparados.

Um aspecto que deve ser salientado neste ponto é que não se trata, neste trabalho, de validar o modelo hidrológico em si, e sim verificar a aplicabilidade ou adequação de uma determinada fonte de informação como dado de entrada do modelo. Por isso, não se segue aqui o procedimento usualmente empregado, ou seja, dividir o período com dados em um subperíodo para calibração e outro para verificação. O modelo será simplesmente calibrado com os três tipos de dados de entrada separadamente, comparando-se os resultados. Esse procedimento é justificado também pelo fato de que a série de dados do TRMM é de apenas 7 anos e se trata aqui de modelos de grandes bacias, de forma que não seria de bom alvitre dividir o período em dois, sob o risco de diminuir muito a representatividade dos resultados e a representação da variação interanual das vazões. Assume-se que o conjunto que fornecer os melhores resultados na calibração deveria levar aos melhores resultados do modelo também num eventual período de verificação.

Além de comparar o desempenho dos diferentes conjuntos de dados em termos de coeficientes de avaliação, serão analisados, também, os valores dos parâmetros obtidos em cada caso, para verificar se algum conjunto provocou distorções exageradas nos parâmetros, modificando-os para valores fisicamente inconsistentes.

5.6.4. Coeficientes de avaliação

A aferição da qualidade do modelo é feita, primordialmente, de forma qualitativa, por meio da plotagem dos hidrogramas simulado e calculado e comparação visual da sua adequação. No entanto, é razoável expressar a qualidade do modelo de forma quantitativa, por meio de coeficientes de avaliação (também chamados de função-objetivo). Diversos coeficientes são propostos na literatura, dos quais três serão levados em conta neste trabalho: O coeficiente R2 ou Nash-Suttcliffe, o coeficiente R2 dos logaritmos das vazões e o erro porcentual de volume. Esses são os coeficientes que têm sido usados nas aplicações do modelo MGB-IPH. Assim, pode-se comparar os resultados obtidos nessas bacias com as aplicações em outras bacias já simuladas.

O coeficiente R2 é dado por:

$$R2 = 1 - \frac{\sum (Q_{obs}(t) - Q_{calc}(t))^2}{\sum (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (\text{eq. 5.8})$$

onde: $Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no intervalo de tempo t ; $Q_{calc}(t)$ é a vazão calculada no intervalo de tempo t ; e $\overline{Q_{obs}}$ é a média das vazões observadas

Este coeficiente representa a parcela da variância dos dados que é explicada pelo modelo, podendo variar de $-\infty$ a 1. Para valores de R2 inferiores a zero, o modelo é pior do que o modelo alternativo de prever a média dos dados observados. Na prática, um modelo com valor de R^2 inferior a 0.5 não apresenta resultados confiáveis.

O coeficiente R2 do logaritmo das vazões é dado por:

$$R^2_{log} = 1 - \frac{\sum (\text{Log}Q_{obs}(t) - \text{Log}Q_{calc}(t))^2}{\sum (\text{Log}Q_{obs}(t) - \overline{\text{Log}Q_{obs}})^2} \quad (\text{eq. 5.9})$$

E, por fim, o erro de volume é dado por:

$$\Delta V = \frac{\sum (Q_{cal}(t)) - \sum (Q_{obs}(t))}{\sum (Q_{obs}(t))} \quad (\text{eq. 5.10})$$

O coeficiente $R2_{log}$ é de interesse quando o foco da calibração é nas estiagens, uma vez que o mesmo dá um peso maior para vazões mais baixas, em comparação com R^2 . Já o coeficiente ΔV

representa o erro no balanço de volumes, o que tem um peso maior quando o foco da análise é dimensionamento de reservatórios, por exemplo.

6. Aplicação na bacia do São Francisco até a Usina de Três Marias

6.1. Caracterização da bacia

A bacia hidrográfica do rio São Francisco abrange áreas pertencentes aos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e uma pequenina porção de Goiás e do Distrito Federal (Magalhães, 2005). É uma bacia inteiramente contida em território nacional, estando limitada pelas latitudes 7° e 21° sul e longitudes 36° e 48° oeste, atingindo a área de 640.000 km². O São Francisco teve seu curso interrompido por uma seqüência de reservatórios para geração de energia, o que regularizou boa parte de sua vazão média. É uma bacia importante porque atravessa a região mais seca do país, constituindo-se em objeto de conflito pelo uso da água. Simbólico dos conflitos é a questão da transposição das águas do São Francisco, que tem sido motivo de debates na mídia e também no meio acadêmico (SBPC, 2005, e Magalhães, 2005).

Neste trabalho, será analisada a porção da bacia definida pela seção do rio São Francisco junto à Usina Hidrelétrica de Três Marias. A Figura 6. 1 mostra a porção em estudo da bacia inserido na bacia completa do São Francisco e a localização de ambas no território nacional.

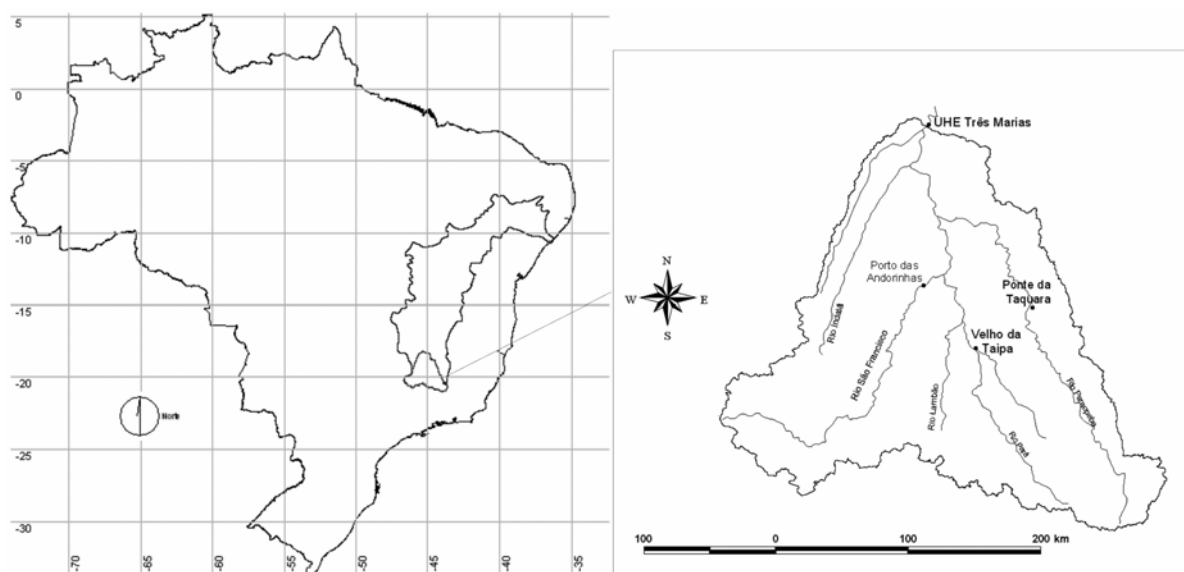


Figura 6. 1. Contornos da bacia do São Francisco e da sub-bacia em estudo (em vermelho), inseridas no território nacional, com detalhe da hidrografia e postos fluviométricos da sub-bacia em estudo

Junto à UHE Três Marias, a bacia conta com 51.000 km², estando inteiramente contida no estado de Minas Gerais, entre as latitudes 18° e 21° sul e 43° e 47° oeste. Os principais municípios situados nesta porção da bacia são Betim e Contagem, além de outros municípios da zona

metropolitana de Belo Horizonte, bem como algumas das cidades históricas mineiras, como Ouro Preto e Congonhas.

A altitude varia de 500 a 1600m acima do nível do mar, conforme pode ser observado na Figura 6. 2.

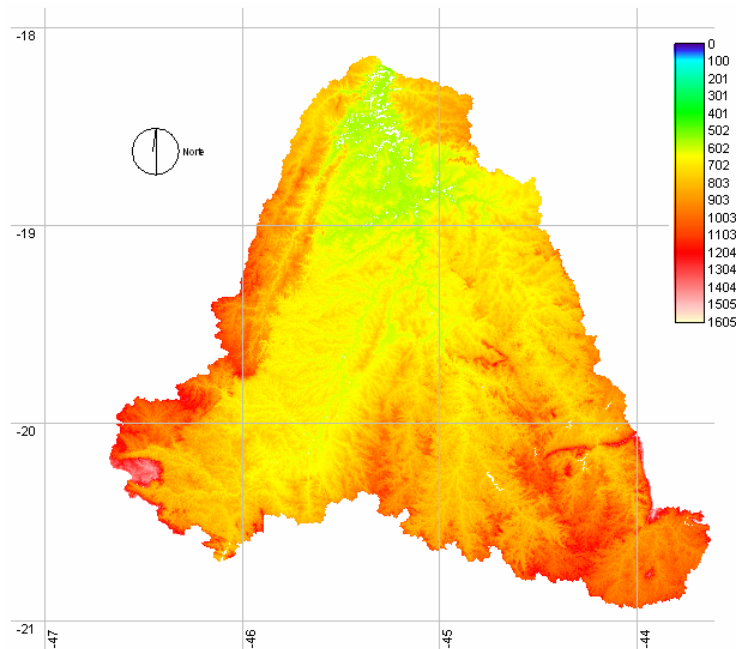


Figura 6. 2. Modelo numérico de terreno da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias.

O regime de chuvas é muito sazonal, havendo um período úmido concomitante com o verão no hemisfério sul. Segundo Silva (2005), nessa bacia, as chuvas de verão acontecem devido à incursão de frentes frias de verão e da presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é mais intensa nos meses de verão.

As informações referentes à pedologia da bacia foram obtidas dos mapas do projeto RADAMBRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1983), bem como de um mapa de solos fornecido pela ANEEL, produzido pela CODEVASF em escala 1:1.000.000. Os tipos de solos foram digitalizados e agrupados em classes de características físicas semelhantes do ponto de vista hidrológico, produzindo o mapa temático apresentado na Figura 6. 3.

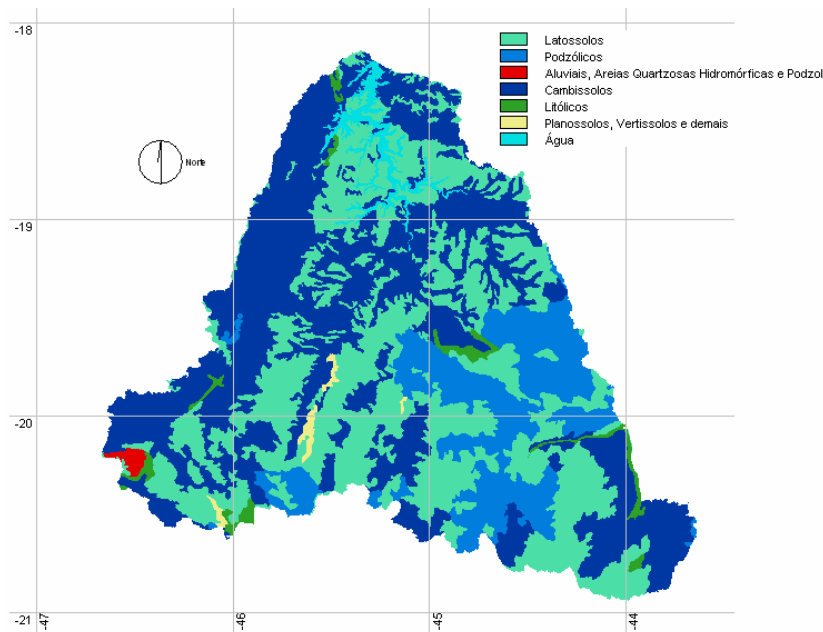


Figura 6. 3. Mapa de solos da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias

Predominam na bacia os cambissolos, ocupando 43% da área da bacia, e os latossolos, com cerca de 38%. Importantes são ainda os solos podzólicos, com aproximadamente 14% da área. Isoladamente ocorrem solos litólicos, solos de várzea e planossolos.

A classificação de uso do solo foi feita por Silva (2005), a partir de imagens LANDSAT TM com resolução de 30 metros, em 6 bandas diferentes. O resultado da classificação é apresentado na Figura 6. 4.

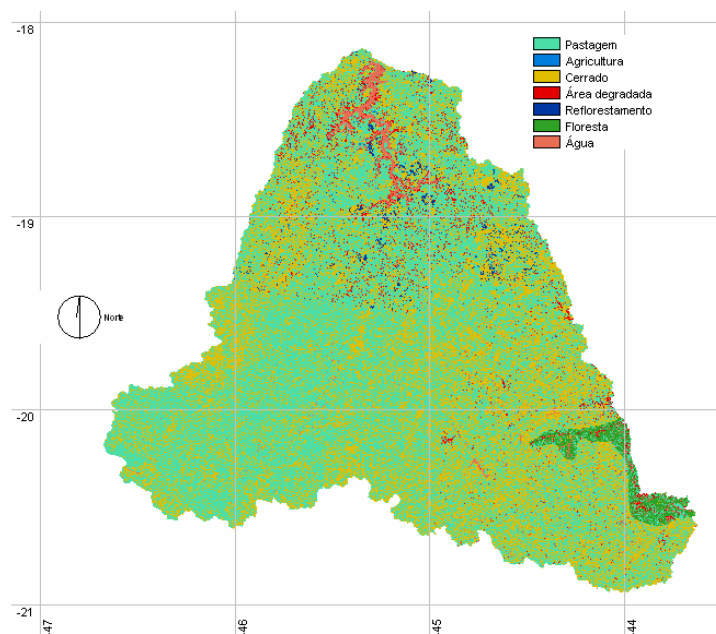


Figura 6. 4. Mapa de uso do solo da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias

O uso com a maior fração de área é a pastagem, ocupando cerca de 57% da bacia. O cerrado cobre 36% da área total. Apenas uma pequena porção na parte leste da bacia é coberta por florestas. A água também representa um percentual comparativamente alto, graças à superfície do lago da UHE Três Marias.

6.2. Comparação entre dados de precipitação sobre a bacia

Os campos de precipitação interpolada de pluviômetros sobre a bacia foram obtidos a partir das séries históricas de 98 postos fluviométricos, sendo 57 dentro dos limites da bacia e 41 nos seus arredores. O uso de um número relativamente alto de pluviômetros fora dos limites da bacia se justifica pela aplicação original do modelo, que era de previsão hidrometeorológica. No entanto, estes postos podem trazer alguma contribuição à chuva interpolada. De qualquer forma, a densidade de postos dentro da bacia, que é de 1 posto a cada 900 km² em média, é relativamente alta para padrões brasileiros. Já os campos de precipitação de satélite foram obtidos a partir das séries estimadas em 168 *pixels* do satélite TRMM.

6.2.1. Ajuste na distribuição temporal

A partir da comparação entre as séries de precipitações médias sobre a bacia, verificou-se que o TRMM antecipa a precipitação, ou seja, a estima antes que ela efetivamente aconteça. Isso pode ser verificado visualmente na Figura 6. 5, que mostra a comparação para o ano hidrológico de 1998/1999.

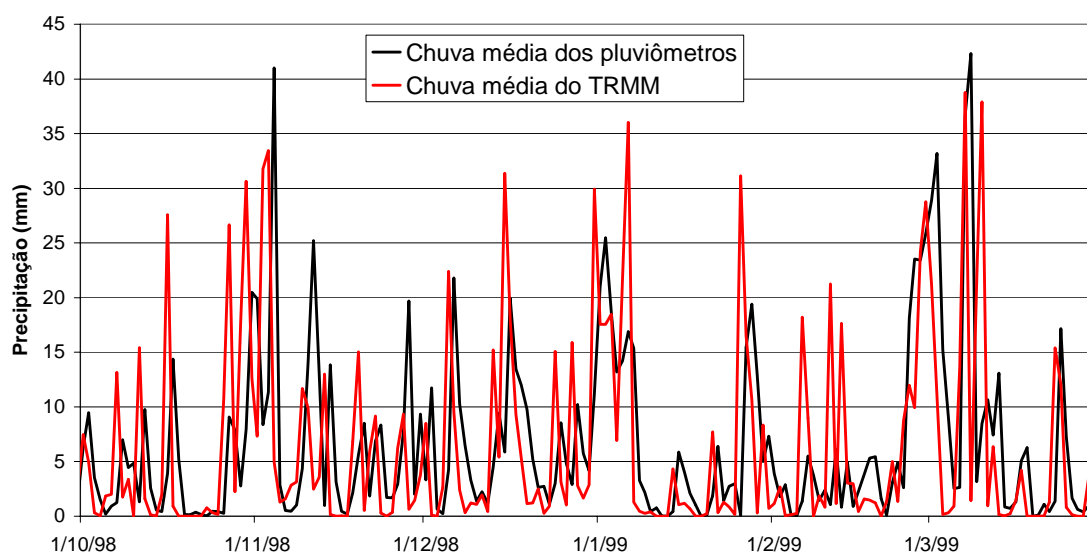


Figura 6. 5. Comparação entre a precipitação média obtida dos pluviômetros e estimada pelo TRMM, mostrando que o satélite estima com antecedência, período de 1/10/1998 a 30/3/1999

Nessa figura, pode-se observar que vários picos de chuva são “enxergados” com antecedência pelo TRMM. Por conveniência, essa figura mostra apenas um dos anos do período analisado, porém essa tendência se repete para os demais anos. Há um erro nas magnitudes das precipitações estimadas pelo TRMM, o qual, entretanto, parece ser relativamente aleatório. A distribuição temporal, por outro lado, parece ter uma defasagem bastante sistemática.

Para verificar de forma quantitativa qual é a antecedência, a precipitação foi integrada considerando um atraso de 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27 horas na estimativa do TRMM, calculando-se para cada situação o coeficiente de correlação entre a série atrasada e a série de precipitações médias obtida a partir dos pluviômetros.

A Figura 6. 6 mostra, de forma esquemática, o procedimento de integração, com modificação progressiva do intervalo de integração.

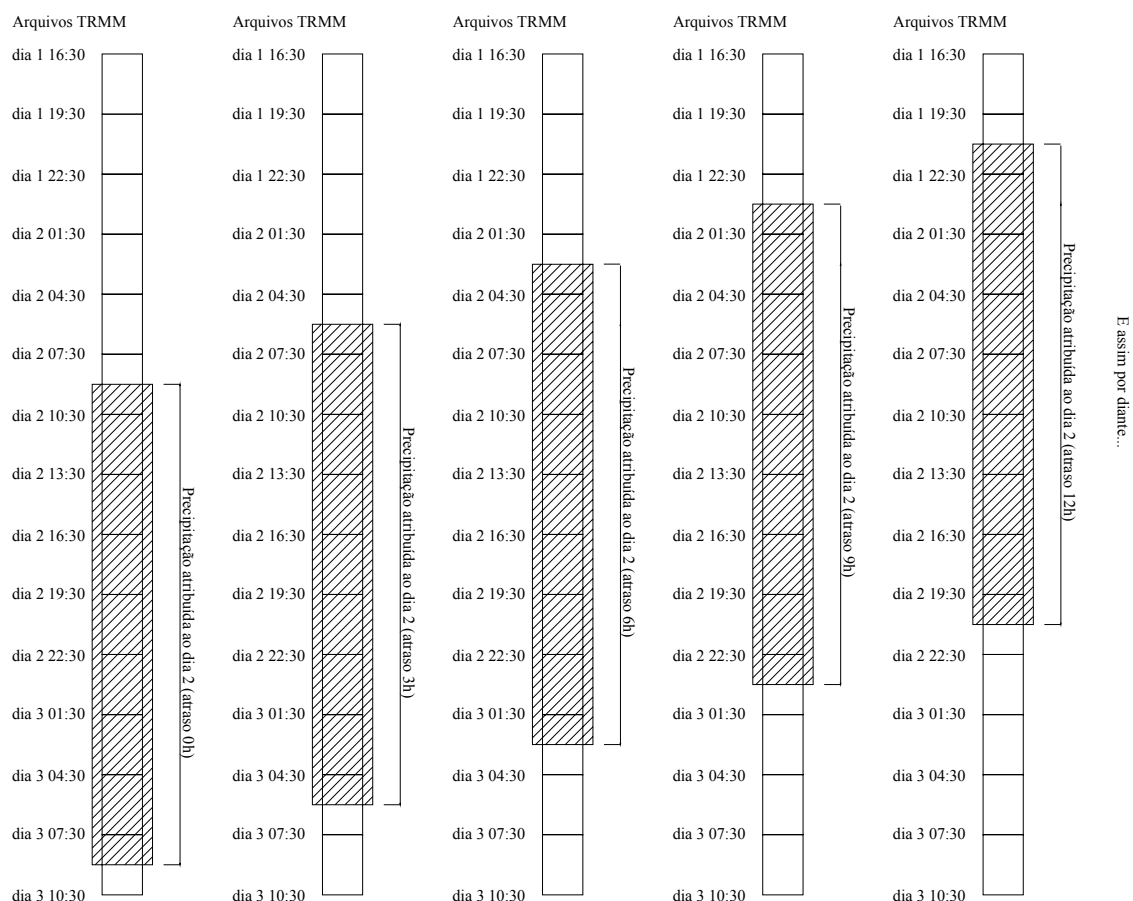


Figura 6. 6. Representação esquemática do processo de integração dos dados de precipitação de 3 em 3 horas do TRMM

Assim, foi possível traçar um gráfico relacionando o atraso considerado na integração da estimativa do TRMM com o coeficiente de correlação obtido, o qual é mostrado na Figura 6. 7.

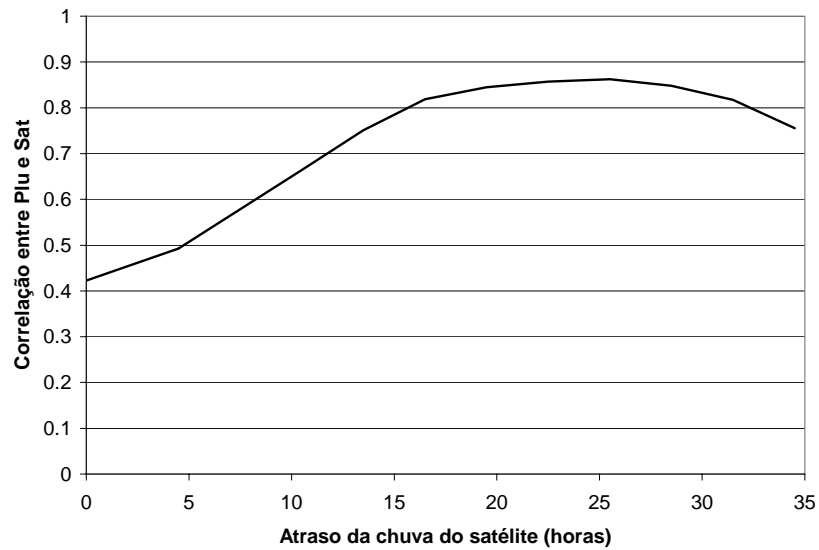


Figura 6. 7. Correlação entre precipitação média dos pluviômetros e do TRMM considerando diferentes atrasos na integração

O ponto de máximo do gráfico mostrado na Figura 6. 7 se situa em torno de 25 horas, de forma que se considerou que, neste ponto, as duas séries de chuvas médias se encontram mais “sincronizadas”. As análises feitas posteriormente, inclusive a simulação no modelo hidrológico, foram feitas atrasando em 25,5 horas a estimativa do satélite.

Algumas explicações foram tentadas para este adiantamento da informação por parte do satélite TRMM. Uma possibilidade é que, na realidade, haja um erro na leitura dos pluviômetros. O procedimento padrão é a leitura diária às 9h, sendo a precipitação total das últimas 24 horas (dia pluviométrico) atribuída ao dia anterior. É possível que, nesta bacia, por um motivo qualquer, a lâmina precipitada esteja sendo atribuída ao dia em que é feita a leitura, explicando assim o atraso dos pluviômetros. Esta hipótese, no entanto, parece pouco provável, uma vez que grande parte dos postos usados nesta análise é de estações telemétricas, que fazem a integração de forma automática.

Uma outra razão aventada foi a possibilidade de o TRMM visualizar não a chuva efetivamente precipitada, e sim o volume de água contido na nuvem antes da ocorrência da precipitação. No entanto, os processos convectivos, que dão origem à maior parte dos eventos de chuva na bacia do São Francisco, são em geral muito localizados e rápidos, ocorrendo em períodos da ordem de algumas horas ou mesmo menos. Assim, é pouco provável que a umidade das nuvens permaneça por mais de 24 horas sem precipitar.

Assim, não há ainda uma explicação definitiva para a defasagem de tempo entre as medidas dos pluviômetros e do satélite TRMM. Seja como for, se o satélite efetivamente tem a capacidade de estimar a precipitação antes que a mesma aconteça (ou seja, se a antecedência observada não é fruto de algum erro de processamento), esses dados podem ser úteis em outras esferas da hidrologia, como a previsão de vazões, por exemplo.

6.2.2. Comparação entre as precipitações médias

A Figura 6. 8 mostra a dispersão entre a precipitação média obtida dos pluviômetros e do TRMM para cada um dos dias do período entre 2/1/1998 a 30/11/2004.

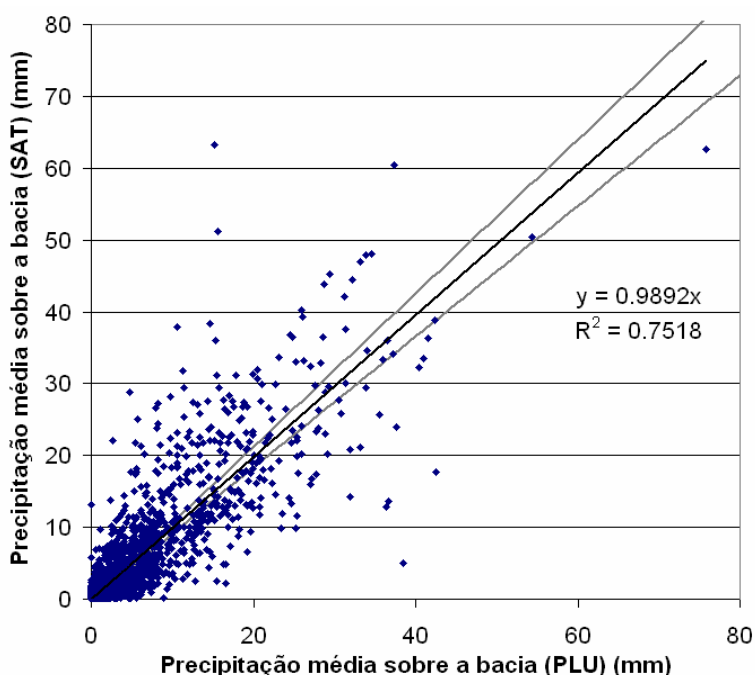


Figura 6. 8. Dispersão entre a chuva média estimada a partir dos pluviômetros e a partir do satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco, reta de ajuste (preto) e limites do intervalo de confiança da estimativa para um nível de 5% (cinza)

Numa situação ideal, tanto o coeficiente angular da reta de ajuste quanto o coeficiente de correlação deveriam ser iguais à unidade. No entanto, o valor do coeficiente de correlação obtido é bastante bom, o que pode ser atestado pela pouca dispersão dos pontos. A reta de ajuste tem coeficiente angular pouco inferior à unidade. Isto se deve a dois eventos de grande magnitude que foram subestimados pelo TRMM e que têm grande peso no ajuste linear. No entanto, de forma geral o TRMM superestima levemente as precipitações menores, inferiores a 20mm.

A Figura 6. 9 mostra um detalhe da série de precipitações médias obtidas dos dois conjuntos de dados, focando apenas no ano hidrológico de 2003/2004.

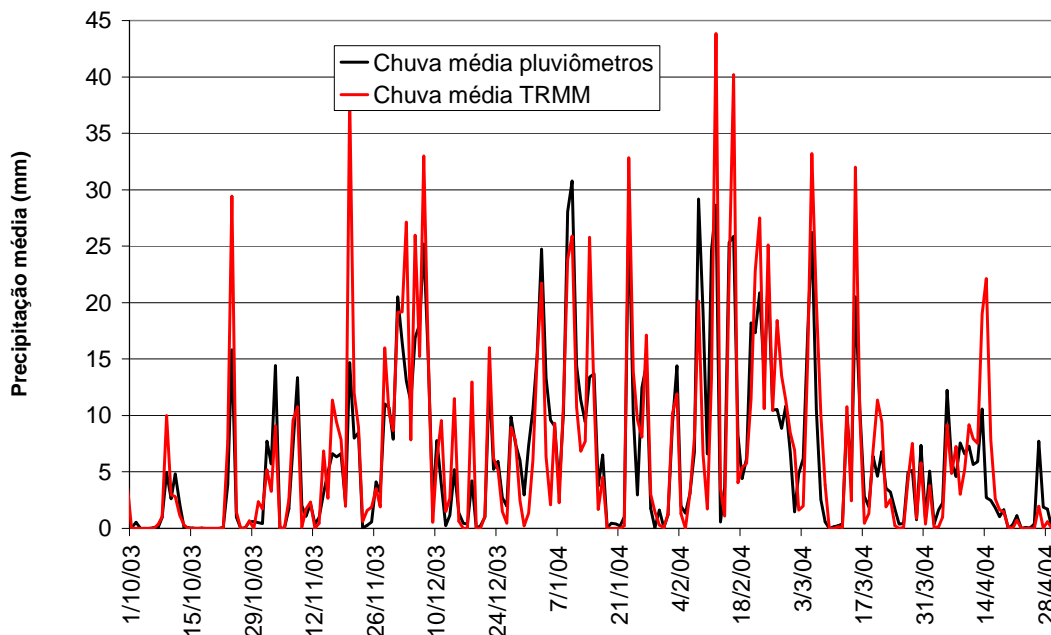


Figura 6. 9. Comparação entre a precipitação média sobre a bacia do São Francisco estimada a partir dos pluviômetros (preto) e a partir dos dados do TRMM (vermelho), período de 1/10/2003 a 30/4/2004

Pode-se observar que o satélite TRMM é capaz de representar bastante bem a sazonalidade, fazendo uma distinção bem evidente entre o período seco, de abril a setembro, e o período úmido, de outubro a março. Isso já é um indício forte de que o dado de satélite é relativamente consistente, sendo possível inferir aspectos do regime hidrológico a partir do mesmo.

Nessa figura, é possível observar que, em termos médios, a chuva estimada pelo TRMM é bastante similar à medida pelos pluviômetros, tanto em distribuição temporal quanto em magnitude. O satélite não apresenta uma tendência clara de sub- ou superestimar sistematicamente a precipitação. Para alguns eventos, o TRMM errou por cima, em outros por baixo. Também deve-se ressaltar a habilidade do algoritmo baseado nos dados do TRMM em estimar a ausência de chuva, o que é importante para a simulação correta das recessões no modelo chuva-vazão.

A Figura 6. 10 mostra a precipitação acumulada média sobre a bacia do São Francisco até o reservatório de Três Marias no período de 2/1/1998 até 30/11/2004.

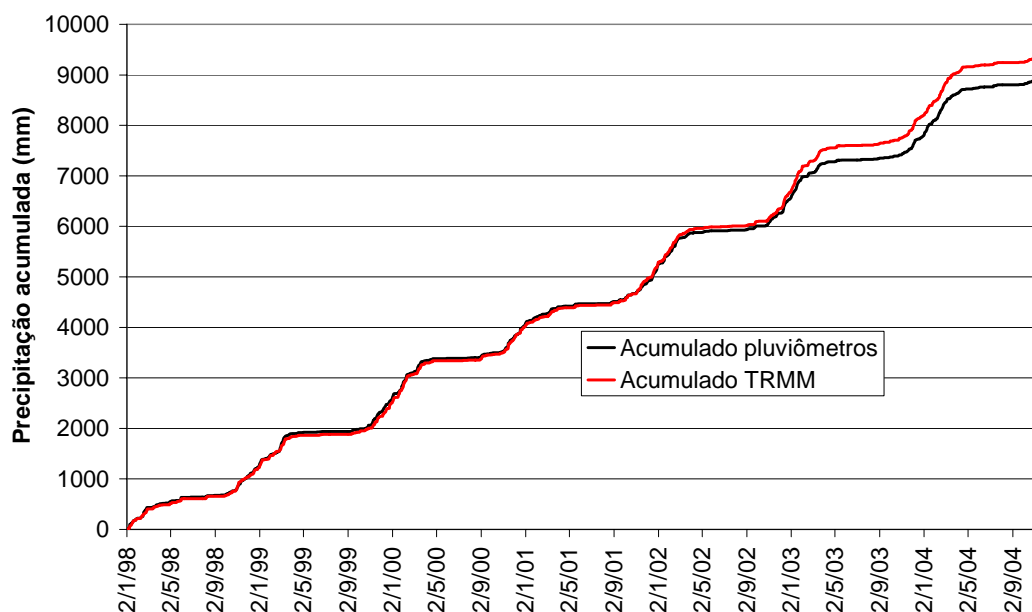


Figura 6. 10. Precipitação média acumulada sobre a bacia do São Francisco, período de 2/1/1998 a 30/11/2004

A figura mostra que inicialmente o satélite estima corretamente o volume médio precipitado sobre a bacia, tendendo até a subestimá-lo ligeiramente. A partir do ano de 2001, ocorre uma forte inversão desta tendência, passando o TRMM a superestimar significativamente o volume total precipitado. A Tabela 6. 1 corrobora esta afirmação, ao mostrar a comparação entre os totais anuais precipitados.

Tabela 6. 1. Totais anuais precipitados de acordo com o conjunto de dados e diferença relativa

Ano	PLU (mm)	SAT (mm)	Erro (%)
1998	1.257	1.228	-2,3%
1999	1.316	1.279	-2,8%
2000	1.479	1.525	3,1%
2001	1.187	1.257	5,9%
2002	1.328	1.415	6,6%
2003	1.231	1.496	21,5%
2004	1.217	1.290	6,1%

Embora já no ano de 2000 tenha havido uma alteração na tendência, é a partir de 2001 que ela passa a se manifestar mais fortemente. É possível que essa mudança esteja relacionada com a manobra de elevação de altitude do satélite, realizada a 27 de agosto de 2001, com o objetivo de estender a operação do mesmo. Anteriormente à manobra, o satélite encontrava-se a 350km da superfície, passando a operar a 403 km de altitude. A manobra foi acompanhada de uma

modificação no algoritmo de estimativa da precipitação, de forma a contemplar os efeitos da redução da resolução espacial da aquisição do radiômetro e do radar. No entanto, aparentemente essa modificação não abrangeu todas as modificações ocorridas, passando a haver uma maior incerteza na estimativa. Provavelmente, as estruturas precipitantes passam a parecer mais frias ao radiômetro de microondas, devido a um aumento na dispersão atmosférica decorrente da maior distância média às nuvens. Esse erro no volume precipitado total, de cerca de 5%, pode levar a diferenças significativas nos volumes escoados, quando da simulação no modelo hidrológico.

Por fim, procurou-se verificar se existia alguma sazonalidade nas diferenças encontradas. Para isso, foram comparados os totais mensais de cada conjunto de dados pluviométricos. A comparação é mostrada na Figura 6. 11.

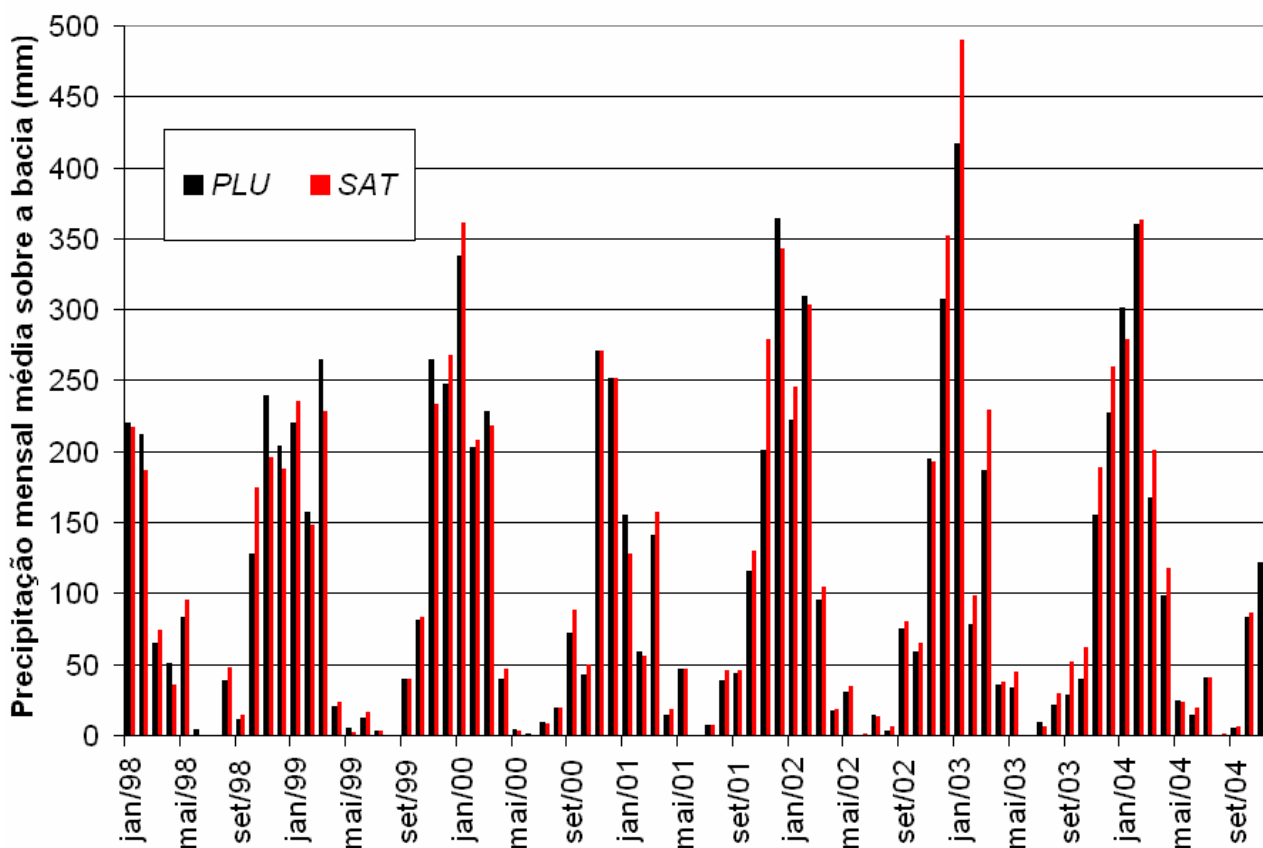


Figura 6. 11. Comparação entre totais precipitados mensais, período de janeiro de 1998 a novembro de 2004

É positivo perceber novamente que o satélite acompanha bastante bem a variação sazonal da precipitação, distinguindo meses úmidos de meses secos. Aparentemente, há uma tendência do TRMM sempre superestimar a precipitação nos meses mais secos. Já nos meses úmidos, o

comportamento é mais aleatório, sendo que em alguns meses o conjunto *SAT* superestima o acumulado mensal e em outros o subestima.

6.2.3. Comparação entre os campos de precipitação

O campo de diferenças relativas entre precipitação acumulada sobre a bacia é mostrado na Figura 6. 12. Os pontos em preto mostram a localização dos postos pluviométricos usados na comparação.

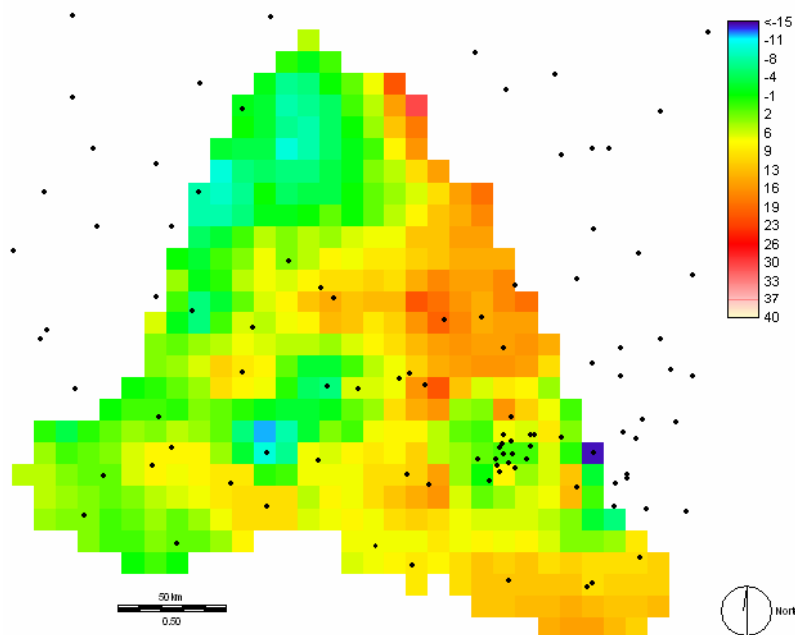


Figura 6. 12. Campo de erros relativos de volume entre precipitação acumulada do TRMM e acumulada dos pluviômetros, relativo ao período de 2/1/1998 a 30/11/2004

Na figura acima, cores mais quentes correspondem a células onde o TRMM superestimou a precipitação total ao longo dos quase sete anos de estimativa, e vice-versa. O erro de volume variou de -14% (o TRMM subestimou em 14% a precipitação total) a +30% (superestimou em 30%). Esse tipo de análise pode contribuir para identificar postos pluviométricos que eventualmente forneçam dados pouco consistentes, uma vez que as células onde o TRMM subestimou a precipitação (células em azul) são bastante isoladas. Outra possibilidade é que nessas células, ocorra precipitação orográfica, dado que as células em azul ocorrem predominantemente próximas a divisores de águas da bacia ou de sub-bacias internas. É sabido que sensores de microondas têm dificuldade em identificar precipitação orográfica, pela ausência de cristais de gelo na mesma, produzindo então o erro mostrado. Outro fato interessante é que a região sudeste da bacia, que dispõe de alta densidade

de pluviômetros, apresenta um erro de volume próximo a zero em todas as células, o que mostra que a estimativa do TRMM é relativamente consistente.

O erro acumulado, porém, não permite observar diferenças na variação temporal da precipitação medida pelos dois instrumentos. Para isso, foi então calculado, para cada célula, o coeficiente de correlação entre as séries interpoladas a partir das duas distintas fontes de dados. A Figura 6. 13 mostra o valor desse coeficiente em cada uma das 435 células da bacia discretizada do São Francisco, com séries interpoladas no período entre 2/1/1998 a 30/11/2004.

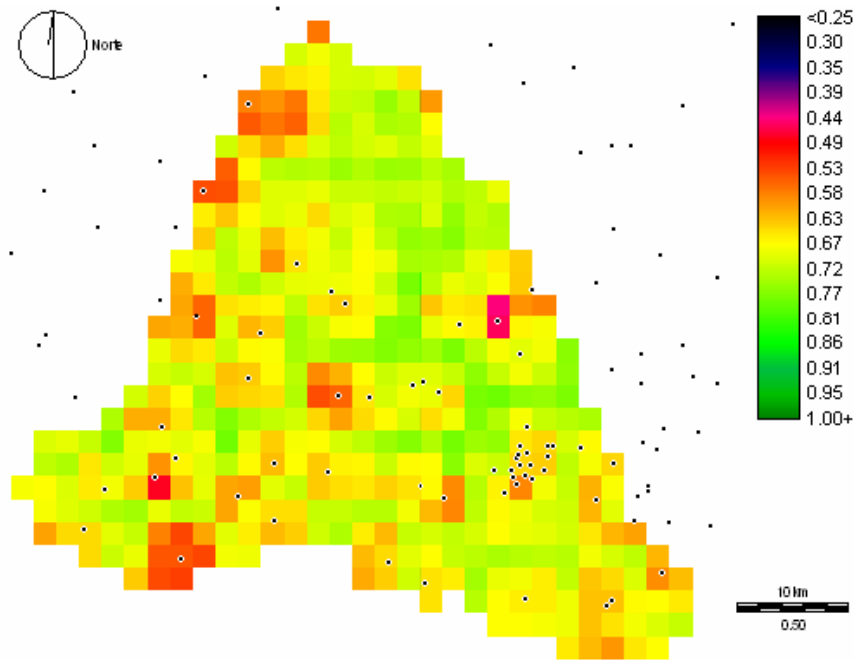


Figura 6. 13. Campo de correlação entre as séries de chuva interpolada dos pluviômetros e interpolada do TRMM de 2/1/1998 a 30/11/2004 sobre as células do modelo da bacia do São Francisco.

Quanto mais próximo da unidade for o valor do coeficiente, mais correlacionadas são as duas séries. Ou, em outras palavras, melhor é o ajuste de um modelo linear para prever a precipitação de uma fonte de dados a partir de outra.

O coeficiente de correlação variou de 0,44 a 0,78, o que pode ser considerado um resultado razoável. Pode-se notar que as maiores correlações são obtidas em células que não são necessariamente próximas de postos pluviométricos, ao contrário do que poderia se supor intuitivamente. Isto pode ser explicado pelo fato de que não há uma tendência evidente do TRMM em sub- ou superestimar sistematicamente a precipitação. Como já havia sido constatado na Figura 6. 9, o TRMM ora erra para mais, ora para menos, dependendo do evento analisado. Isto afeta fortemente o coeficiente de correlação em células próximas a pluviômetros. Caso o TRMM errasse

sempre para mais (ou sempre para menos), mesmo que muito significativamente, o coeficiente seria mais alto.

Já nas células mais afastadas de postos pluviométricos, os eventos mais extremos são amortecidos, dada a natureza suavizante da interpolação por inverso da distância ao quadrado (máximos e mínimos só ocorrem nos pontos com dados). Assim, as séries nessas células se aproximam mais de valores médios, de forma que o coeficiente de correlação resulta maior.

O fato de a correlação ser alta em células distantes dos pluviômetros não significa absolutamente que as séries nos mesmos são mais confiáveis. Cabe lembrar que, nessas células, a correlação é calculada a partir de duas séries às quais estão vinculadas maiores incertezas, de forma que esse resultado deve ser considerado com cuidado.

6.3. Simulação na bacia do São Francisco

A partir do modelo numérico de terreno, disponível em resolução de 90m, foi gerada uma rede de drenagem discretizada para simulação no modelo, esta com resolução de 0,1°. A seguir, foram delimitadas as sub-bacias para simulação, seguindo o critério de existência de postos fluviométricos com dados no período analisado. Os postos fluviométricos usados são apresentados na Tabela 6. 2. A rede de drenagem discretizada, por sua vez, é mostrada na Figura 6. 14, bem como o contorno discretizado das quatro sub-bacias.

Tabela 6. 2. Postos fluviométricos considerados na aplicação

Código	Posto	Rio	Área real (km ²)	Área no modelo (km ²)
40100000	Porto das Andorinhas	São Francisco	13.087	13.868
40330000	Velho da Taipa	Pará	7.350	7.329
40850000	Ponte da Taquara	Paraopeba	8.720	8.729
ND	UHE Três Marias	São Francisco	50.600	50.784

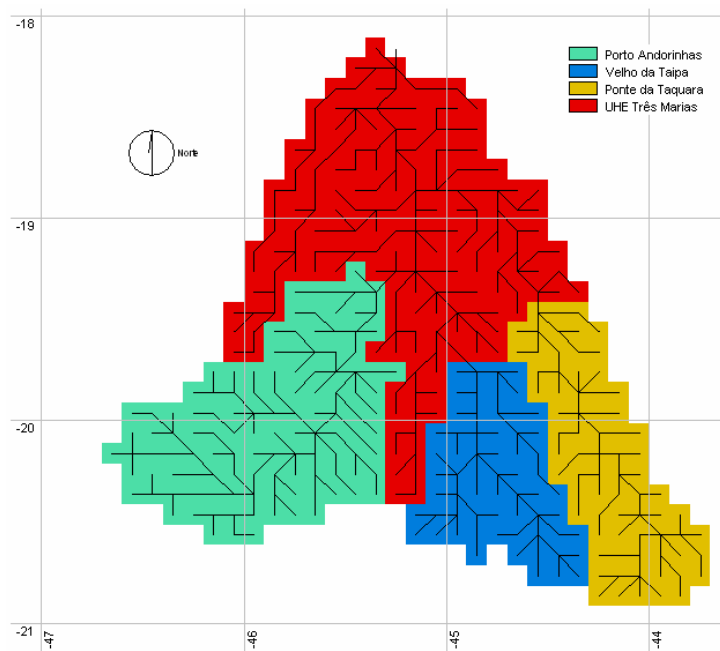


Figura 6. 14. Bacia do São Francisco discretizada em células e dividida em sub-bacias

Da combinação entre os diferentes tipos e usos do solo, apresentados na seção anterior, foram reagrupados 8 blocos principais, considerando as características que influenciam o comportamento hidrológico. A Figura 6. 15 mostra a distribuição destes blocos de comportamento hidrológico sobre a bacia discretizada do São Francisco.

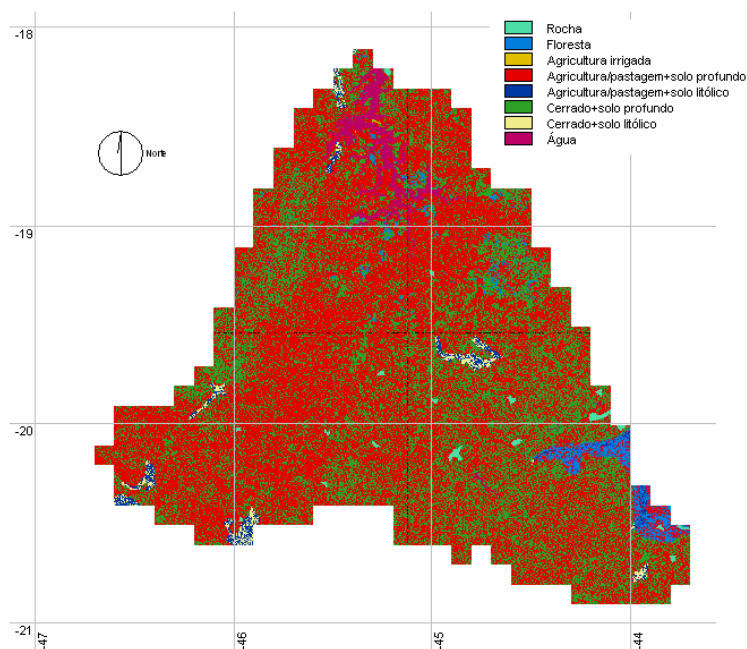


Figura 6. 15. Blocos de uso e tipo de solo para simulação no modelo

Predominam blocos marcados por solos profundos. O bloco rocha, apesar de ocorrência pouco freqüente, é importante por produzir grande escoamento superficial. Igualmente, o bloco água, apesar de ter pequena área, representa uma superfície evaporativa importante. A Tabela 6. 3 mostra a área e a porcentagem dos blocos sobre a bacia do São Francisco até a UHE Três Marias.

Tabela 6. 3. Área e cobertura de cada um dos blocos de tipo e uso de solo na bacia do São Francisco até a UHE Três Marias

Bloco	Área (km ²)	Área relativa
Rocha	199	0,4%
Floresta	999	2,0%
Agricultura irrigada	8	0,0%
Agricultura/pastagem+solo profundo	29.080	57,5%
Agricultura/pastagem+solo litólico	505	1,0%
Cerrado+solo profundo	17.836	35,3%
Cerrado+solo litólico	370	0,7%
Água	1.567	3,1%

6.3.1. Verificação do modelo ajustado em período anterior

Silva (2005) realizou uma calibração do modelo MGB-IPH na bacia do rio São Francisco utilizando dados interpolados de pluviômetros como entrada para o modelo. O período de calibração usado por este autor foi dos anos de 1977 a 1986. Com esses valores de parâmetros, foi realizada uma primeira verificação do modelo no período com disponibilidade de estimativas de precipitação por satélite (1998 a 2004), com os três diferentes conjuntos de chuva: precipitação interpolada dos pluviômetros (*PLU*), interpolada dos *pixels* do TRMM (*SAT*), e interpolada dos pluviômetros com base no satélite (*MISTO*). Para diluir erros nas condições iniciais do modelo, as três simulações começaram em 1/1/1991 com dados interpolados de pluviômetros, de forma que ao se iniciar o período de avaliação o modelo já se encontrava “aquecido”, ou seja, com as variáveis de estado relativamente ajustadas. A Figura 6. 16 mostra a comparação entre o hidrograma calculado com chuva de pluviômetros (*PLU*), calculado com estimativa de satélite (*SAT*) e o hidrograma de vazões afluentes à UHE Três Marias.

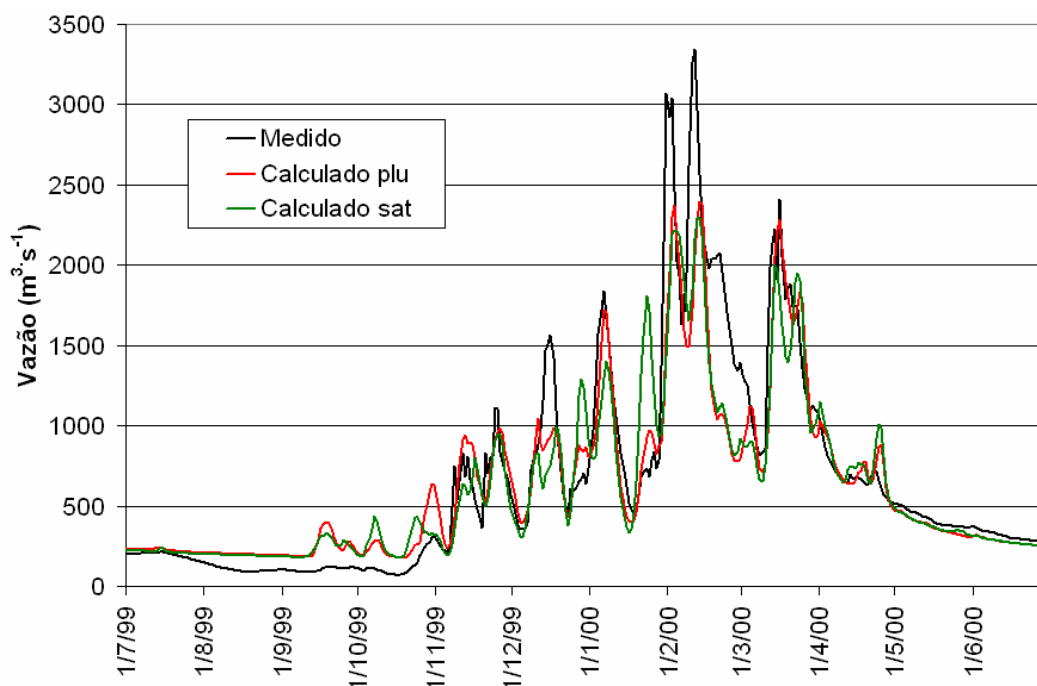


Figura 6. 16. Verificação do modelo na UHE Três Marias no período de 1/7/1999 a 30/6/2000 com parâmetros calibrados por Silva (2005), otimizados para o período entre 1977 e 1986, usando dados de pluviômetros (vermelho) e de satélite (verde).

Os gráficos mostram apenas o detalhe da verificação de um ano hidrológico, porém o comportamento é muito semelhante nos demais anos. Os resultados obtidos na Figura 6. 16 são bastante animadores, pois, mesmo levando-se em conta que os parâmetros foram obtidos para um período muito distinto, em outro cenário de uso do solo na bacia, com dados tão somente de pluviômetros no solo, as estimativas de precipitação por satélite (SAT) forneceram resultados bastante coerentes quando aplicadas ao modelo hidrológico.

Como era de se esperar, o desempenho desse modelo é levemente inferior ao MGB-PLU. Alguns picos foram subestimados, outros foram superestimados, em situações que o modelo MGB-PLU logrou obter melhor adequação com o hidrograma de vazões afluentes. O pico maior de vazão, no entanto, foi subestimado tanto pelo modelo MGB-PLU quanto pelo modelo MGB-SAT, mostrando que o erro se deve mais a uma limitação estrutural do modelo em si do que do dado de chuva utilizado.

Todo período seco do ano de 1999 foi superestimado por ambos os modelos. No entanto, Silva (2005) já alerta que, pelo fato do hidrograma de vazões afluentes não ser efetivamente medido, e sim estimado através de balanço hídrico do reservatório, pode haver incertezas no dado de referência. Deve-se destacar, ainda, o bom resultado na recessão do hidrograma de cheia do ano de 2000, em que houve boa coincidência.

A Figura 6. 17 mostra a comparação entre os hidrogramas de vazões afluentes e calculados pelo modelo MGB-PLU e pelo modelo MGB-MISTO, no mesmo período da comparação anterior.

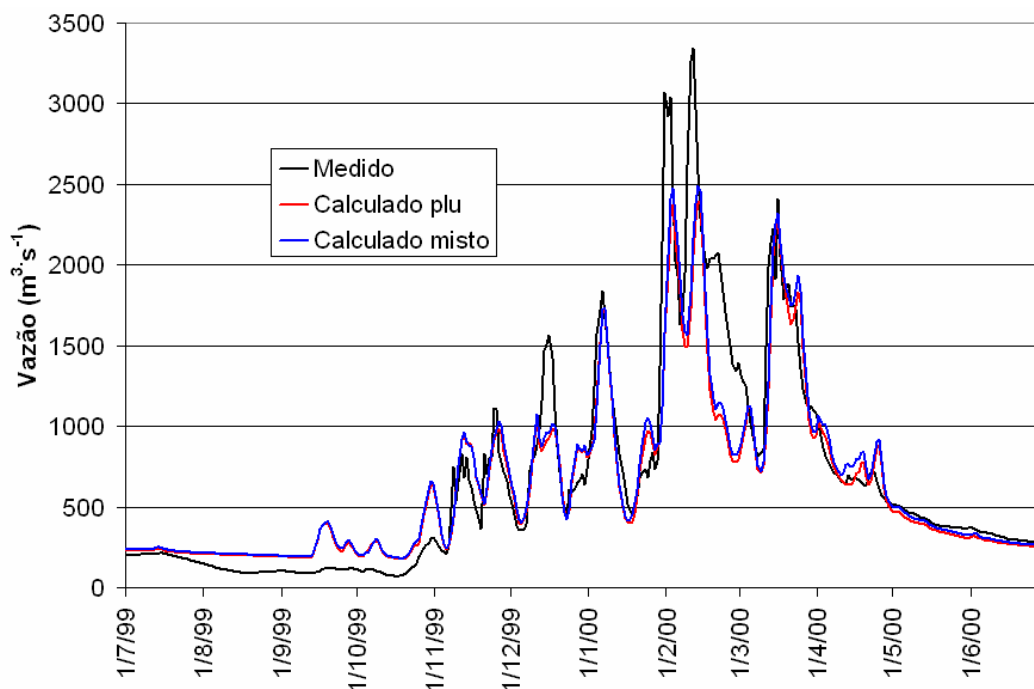


Figura 6. 17. Verificação do modelo na UHE Três Marias no período de 1/7/1999 a 30/6/2000 com parâmetros calibrados por Silva (2005), otimizados para o período entre 1977 e 1986, usando o conjunto *PLU* (vermelho) e o conjunto *MISTO* (azul).

A Figura 6. 17 mostra que existe grande similaridade entre o MGB-PLU e o MGB-MISTO. Esse último representou um pouco melhor os picos de vazão, porém ainda bastante longe de acertá-los adequadamente.

Na Tabela 6. 4, são apresentados os valores dos coeficientes de avaliação em cada sub-bacia, divididos de acordo com o dado de entrada (*plu*, *sat* e *misto*).

Tabela 6. 4. Valores dos coeficientes de avaliação da verificação na bacia no período de 1998 a 2004, com parâmetros ajustados para o período de 1977 a 1986

	Porto Andorinha			Velho da Taipa			Ponte da Taquara			UHE Três Marias		
	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro
Plu	0,61	0,72	-1%	0,73	0,68	-11%	0,81	0,88	-12%	0,81	0,82	-1%
Sat	0,57	0,66	3%	0,55	0,62	0%	0,71	0,84	-2%	0,71	0,76	7%
Misto	0,62	0,71	3%	0,74	0,72	-5%	0,82	0,89	-7%	0,82	0,81	4%

Nota-se que, em todas as sub-bacias, o modelo MGB-MISTO teve o melhor desempenho entre os três, considerando o coeficiente R2, que é o coeficiente mais representativo. No entanto, a diferença em relação ao coeficiente R2 do modelo MGB-PLU é muito pequena, e, em relação aos outros coeficientes, esse modelo tem melhor performance. O erro de volume do modelo MGB-SAT foi sempre mais positivo do que o do MGB-PLU, uma consequência da superestimativa da precipitação por parte do satélite a partir de 2001. Em consequência, o erro de volume do modelo MGB-MISTO situou-se em um valor intermediário entre os erros do MGB-PLU e do MGB-SAT.

6.3.2. Recalibração do modelo com os diferentes conjuntos de dados de precipitação

A Figura 6. 18 mostra os resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT, comparados com o hidrograma de vazões naturais na UHE Três Marias, focando nos anos hidrológicos de 1999/2000 e 2000/2001, anos marcados pelo “apagão”, em que houve uma seca pronunciada na bacia.

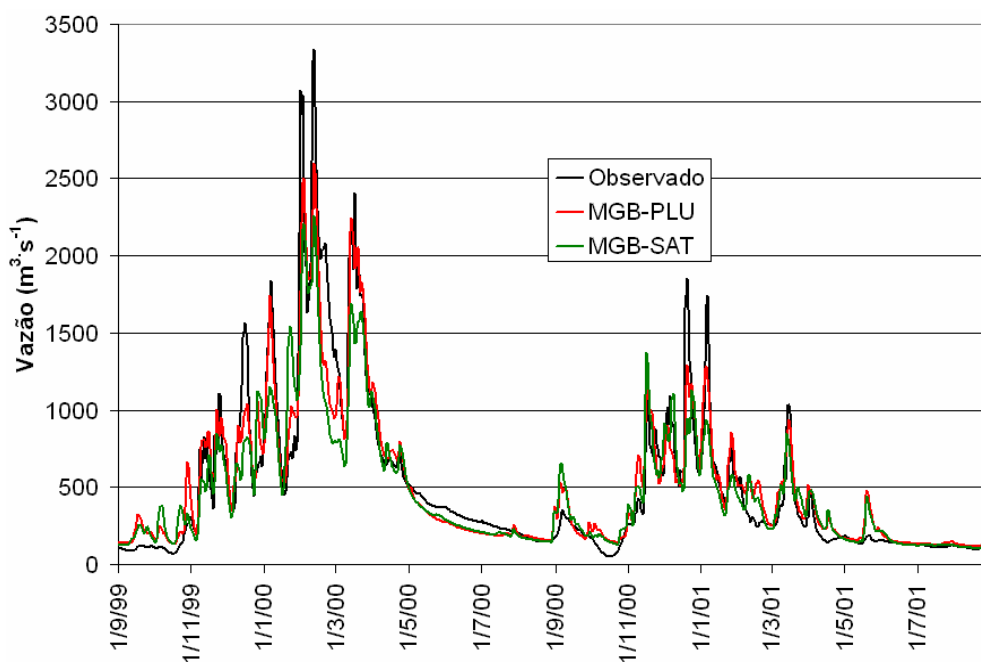


Figura 6. 18. Resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT na UHE Três Marias, período de 1/9/1999 a 30/8/2001

Percebe-se que o modelo otimizado para chuva de pluviômetros (MGB-PLU) tem um desempenho relativamente melhor do que o modelo otimizado para precipitação de satélite (MGB-SAT). Em quase todos os picos de vazão, o MGB-PLU esteve mais próximo de acertar a

magnitude. Já durante as estiagens ambos modelos tiveram desempenho semelhante. Em vista disso, pode-se inferir que o conjunto *SAT* parece estimar bastante bem a ausência de chuva, porém erra na estimativa correta das lâminas precipitadas.

A Figura 6. 19 mostra a comparação entre os resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT, no mesmo período da comparação anterior.

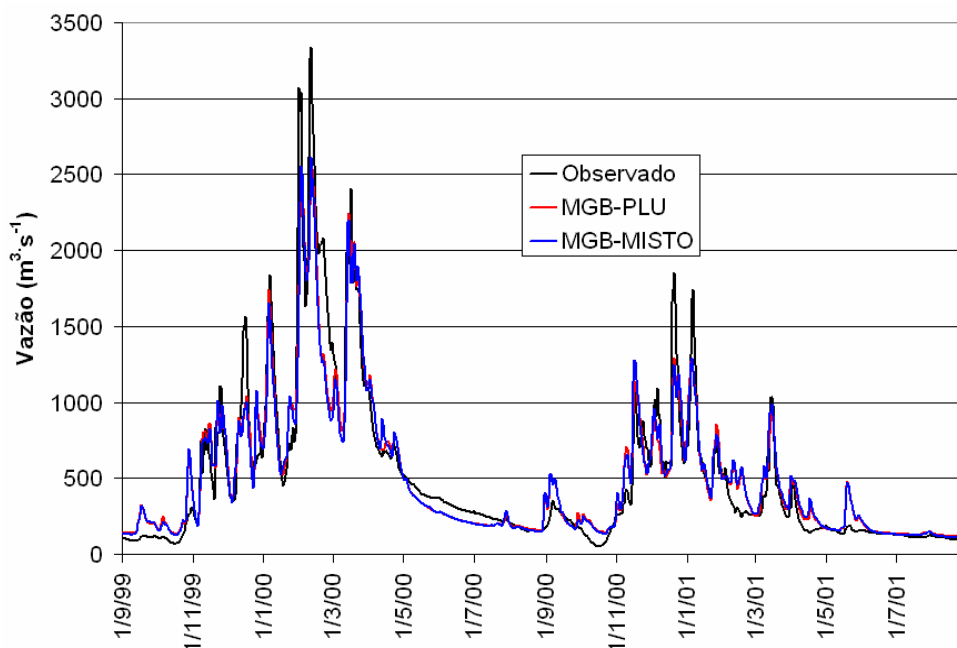


Figura 6. 19. Resultados da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO na UHE Três Marias, período de 1/9/1999 a 30/8/2001

As calibrações usando o conjunto *PLU* e o conjunto *MISTO* conduziram a resultados muito similares, sendo que os hidrogramas praticamente coincidem. Isso parece indicar que o dado do pluviômetro predomina na metodologia de interpolação combinada. A semelhança entre os resultados das calibrações também se refletiu nos valores finais dos parâmetros otimizados para o conjunto *PLU* e para o conjunto *SAT*, como mostra a Tabela 6. 5.

Tabela 6. 5. Valores dos coeficientes de avaliação resultantes da calibração dos modelos MGB-PLU, MGB-SAT e MGB-MISTO nas sub-bacias consideradas

	Porto Andorinha			Velho da Taipa			Ponte da Taquara			UHE Três Marias		
	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro	R2	R2 _{log}	Erro
Plu	0,95	0,94	-0,2%	0,86	0,88	0,3%	0,86	0,88	-0,1%	0,90	0,87	0,6%
Sat	0,85	0,89	0,3%	0,71	0,80	0,0%	0,72	0,83	0,0%	0,79	0,80	0,2%
Misto	0,95	0,94	0,0%	0,85	0,87	0,2%	0,85	0,88	0,2%	0,89	0,87	0,9%

O modelo *SAT* obteve um resultado inferior ao modelo *PLU* em relação a todas as sub-bacias consideradas, tanto em termos de R^2 como de R^2_{log} . Esse era um resultado até certo ponto esperado, pois a estimativa de satélite possui incertezas. Além disso, a rede pluviométrica é relativamente densa nessa bacia, de forma que o conjunto *PLU* expressa com relativa verossimilhança a verdade de solo. Mesmo assim, uma calibração com coeficiente R^2 de 0,79, como a obtida pelo MGB-SAT, ainda pode ser considerada bastante boa. Significa dizer que, mesmo que se abrisse mão de toda a rede pluviométrica, ainda assim se conseguiria expressar quase 80% da variabilidade das vazões em Três Marias. Supondo que o custo mensal de operação e manutenção de uma estação pluviométrica seja de R\$ 1.000,00 e supondo que as estimativas do TRMM possam ser disponibilizadas em tempo real, o operador poderia economizar quase R\$ 100.000,00 ao mês, porém aumentando em cerca de 12% a incerteza do modelo. Este é um cálculo aproximado e sua apresentação de forma alguma pretende desmobilizar a ampliação de redes pluviométricas no Brasil, apenas chamar a atenção para a relativa qualidade da estimativa. Além disso, a estimativa de satélite pode permitir complementar falhas nos dados, pois não foi analisada a degradação do desempenho do modelo com a redução de postos pluviométricos.

Já o modelo *MISTO* não logrou um resultado superior ao modelo *PLU* em nenhuma sub-bacia considerada. Em algumas, inclusive, os resultados foram inferiores. Novamente, a explicação parece residir no fato de que a densidade de pluviômetros na bacia é bastante alta, sendo que praticamente a cada *pixel* do TRMM existe ao menos um pluviômetro. Assim, há pouca margem para o satélite introduzir melhora na representação da distribuição espacial. O resultado indica que, ao menos no caso da bacia do rio São Francisco até a UHE Três Marias, não há justificativa para a adoção de uma metodologia relativamente complexa de uso combinado de dados, pois não há um incremento sensível no desempenho do modelo.

7. Aplicação na bacia do rio Tapajós

7.1. Caracterização da bacia

A bacia do rio Tapajós está situada nos estados do Mato Grosso, Pará e uma pequena porção do Amazonas, entre latitudes 2° e 15° Sul e 53° e 61° oeste (Figura 7. 1). É um dos principais afluentes do rio Amazonas, tendo sua confluência junto a este rio na cidade de Santarém (PA), onde conta com quase 500.000 km² de área de drenagem.

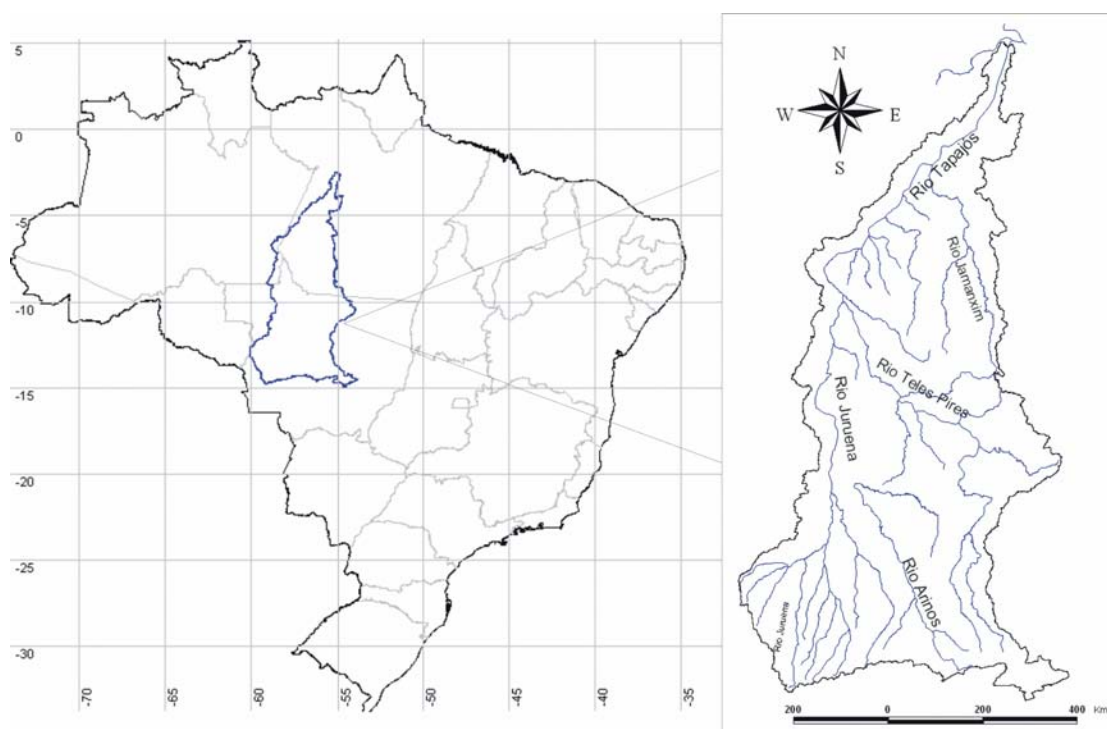


Figura 7. 1. Localização da bacia do Tapajós no território brasileiro e detalhe da hidrografia da bacia.

A altitude varia de cerca de 900m, nas cabeceiras da bacia, até cerca de 51 metros acima do nível do mar, junto à foz no rio Amazonas. Os principais formadores do Tapajós são os rios Juruena e Teles Pires (ou São Manuel), que drenam o norte do estado do Mato Grosso e correm em direção ao norte. Na região central da bacia, a mesma é cortada pela Serra do Cachimbo, a qual condiciona a drenagem do rio Teles Pires para oeste, de forma que o rio Tapajós corre um longo trecho bem próximo ao seu divisor de águas com a bacia do rio Madeira. A Figura 7. 2 mostra o modelo numérico de terreno da bacia, discretizado em *pixels* de 90m.

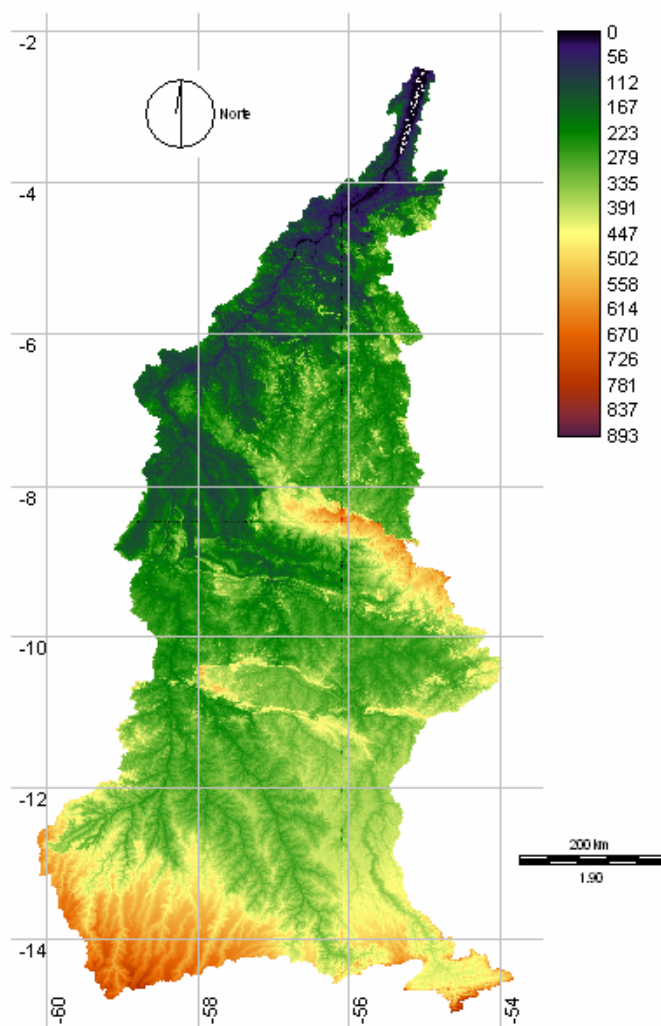


Figura 7. 2. Modelo numérico de terreno da bacia do rio Tapajós

Do ponto de vista climático, a bacia está dominada pela zona de convergência intertropical, região de baixa pressão típica de baixas latitudes. A bacia amazônica como um todo está compreendida no domínio climático mais pluvioso do Brasil, com algumas regiões onde a média anual supera os 2.700 mm ao ano. A bacia do Tapajós, especificamente, também possui elevada precipitação, com média situada entre 1.800 e 2.300 mm ao ano.

O extrativismo vegetal e a mineração são as principais atividades econômicas da bacia, sendo esses também os agentes de degradação ambiental na região. Recentemente, o rio Crepori foi alvo da atenção da mídia pela grande quantidade de sedimentos que o mesmo despeja no Tapajós, decorrente do garimpo. Uma mancha de material em suspensão se estende por 30 km a jusante da confluência e estima-se que ela signifique a sedimentação de 4 toneladas de mercúrio por ano (VEJA, 2005). A Foto 7. 1 mostra a degradação de um dos afluentes do Tapajós devido à extração inadequada de minério.



Foto 7. 1. Degradação causada pelo garimpo no rio Peixoto de Azevedo (Margi Moss/Projeto Brasil das Águas: <http://www.brasildasaguas.com.br/>).

Da mesma forma, o deflorestamento da bacia para dar lugar ao gado e ao cultivo de soja tem atraído interesse e preocupação sobre a bacia do Tapajós, pois a fronteira agrícola vem avançando no interior da bacia. Aliado a isso, trata-se de região onde a presença do Estado ainda não está devidamente consolidada, acentuando os problemas. O efeito desta mudança de uso do solo sobre a hidrologia local é imprevisível, porém é de se supor que o deflorestamento acarrete num aumento do escoamento superficial. Além disso, a perda de cobertura vegetal pode levar a mudanças no clima da Amazônia, tendo por consequência a transição de floresta para cerrado ou mesmo a desertificação.

7.2. Tipos de solo na bacia

Os tipos de solos ocorrentes na bacia do Tapajós foram obtidos através de digitalização das cartas Cuiabá, Juruena, Tapajós e Santarém do RADAMBRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1983). O mapa de solos da bacia é apresentado na Figura 7. 3. Mapa de tipos de solo na bacia do Tapajós.

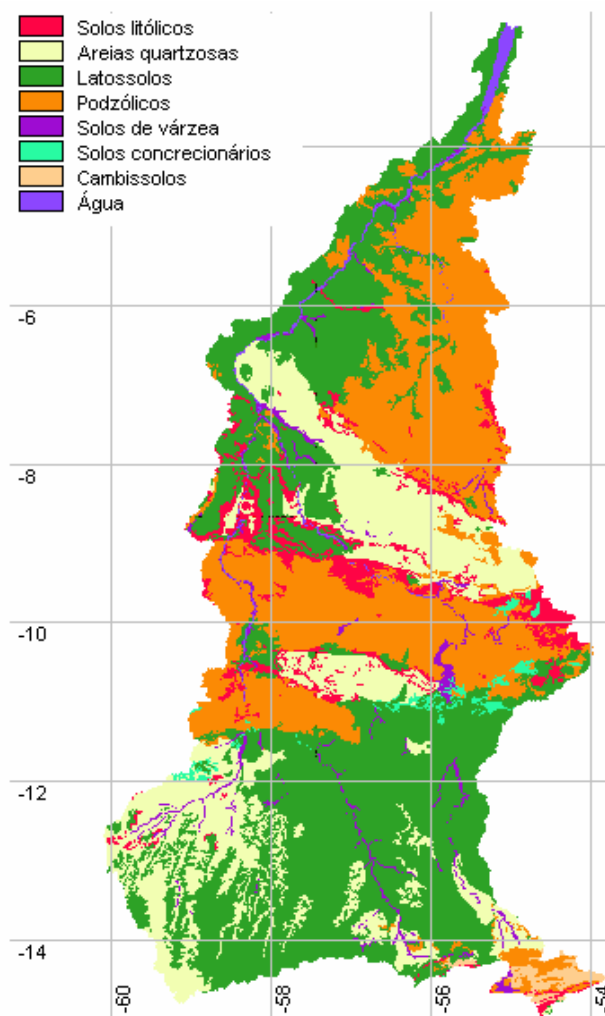


Figura 7. 3. Mapa de tipos de solo na bacia do Tapajós

Os latossolos têm a maior parcela de área da bacia, correspondendo a 41%. Solos podzólicos, em sua maioria argissolos, ocupam 29% da área da bacia, enquanto as areias quartzosas (Neossolos Quartzarênicos) têm 19%. Os solos litólicos, ou leptossolos, juntamente com os afloramentos rochosos, respondem por um porcentual relativamente elevado, correspondente a 6%. Solos hidromórficos, aluviais e gleissolos correspondem a 2% do total, e cambissolos, solos concrecionários (plintossolos) e água ocupam 1% cada um.

Esses solos foram agrupados em 5 grupos distintos, de acordo com o comportamento hidrológico e capacidade de gerar escoamento.

No primeiro grupo, ficaram os solos com alta capacidade de produzir escoamento superficial, dada sua baixa profundidade, boa drenagem e ocorrência em terrenos montanhosos. Todos os solos litólicos foram incluídos nesse grupo. Os afloramentos rochosos, apesar de serem

ainda mais impermeáveis do que os solos litólicos, aparecem apenas em proporção ínfima na bacia, de forma que foram também incluídos nesse grupo.

No segundo grupo, estão os latossolos, solos de grande profundidade (e conseqüentemente grande capacidade de armazenamento), alto teor de argila e que ocorrem normalmente em áreas planas ou suavemente onduladas. Podem ou não ter boa drenagem.

No terceiro grupo, foram enquadrados solos argilosos, porém menos profundos do que o grupo anterior e com capacidade de drenagem moderada. O solo mais representativo desse grupo é o podzólico. Os cambissolos e concrecionários (plintossolos) ocorrem em pequena proporção e, por possuírem características semelhantes, também foram incluídos nesse grupo.

No quarto grupo, estão as areias quartzosas em geral, solos muito porosos, com boa capacidade de armazenamento e boa drenagem.

Por fim, no último grupo, foram incluídos todos os solos típicos de várzea, que, em geral, são profundos mas têm relativa dificuldade de drenagem pela sua localização. Entre esses, destacam-se os solos gleisados, areias quartzosas hidromórficas e solos aluviais em geral.

7.3. Uso do solo

A classificação de uso do solo foi feita a partir de imagens LANDSAT TM com resolução de 30m, a exemplo da bacia anterior. Para classificação, fez-se uso das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Um total de cenas foi necessário para cobrir toda a bacia, com datas variando dos anos de 1987 a 1996. Esta diferença entre os instantes de aquisição das imagens pode ter como conseqüência algumas inomogeneidades na classificação, por se tratar de uma bacia com contínua alteração do uso do solo. Da mesma forma, a falta de imagens recentes se constitui numa limitação, uma vez que as simulações do modelo serão focadas no período de 1998 a 2004, de forma que a classificação feita não reflete a realidade do período simulado. É possível que a falta de imagens claras de 1997 em diante se deva ao aumento da freqüência de queimadas, tornando as imagens de satélite demasiadamente nebulosas.

A Figura 7. 4 mostra a classificação feita.

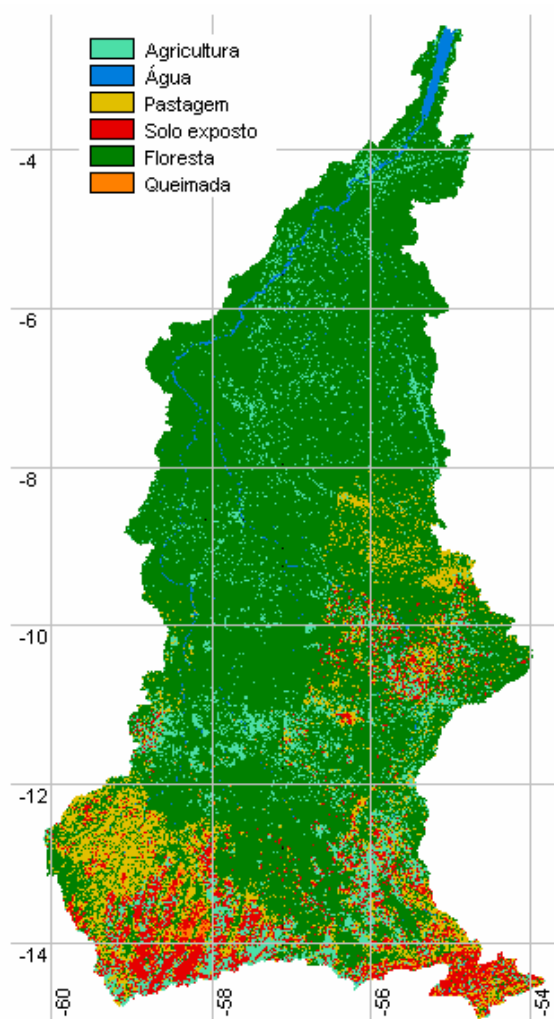


Figura 7. 4. Mapa de usos do solo na bacia do Tapajós

Percebe-se a predominância da cobertura de floresta, com 73% da área da bacia, predominância que é mais pronunciada na região norte, correspondente ao baixo Tapajós. Na região sul, correspondente à fronteira agrícola do norte do Mato Grosso, há uma área significativa de pastagens (correspondendo a 9% do total da área da bacia) e de solo com pouca cobertura (7% da área). Em toda bacia, há focos de cultivo agrícola ou vegetação rasteira, correspondendo a 10% do total. A água cobre 1% da bacia.

A exemplo dos tipos de solo, também os diferentes usos foram reagrupados em classes hidrologicamente semelhantes. Em função da pequena variabilidade de tipos de uso e da variabilidade relativamente alta dos tipos de solo, foram escolhidas apenas duas classes: floresta e pastagem. Na primeira, foram incluídos a floresta e o cerrado, e na segunda estão pastagens, campo, agricultura, solo exposto e queimadas.

7.4. Comparação entre dados de precipitação sobre a bacia do Tapajós

Os campos de precipitação resultantes da interpolação de dados diários de pluviômetros foi obtido a partir das séries de 87 postos pluviométricos com dados no período analisado, de 1998 a 2004. Os campos de precipitação que originaram o conjunto *SAT* resultaram das estimativas do satélite TRMM em 1581 *pixels* sobre a bacia do Tapajós.

7.4.1. Comparação entre as precipitações médias sobre a bacia

O adiantamento na precipitação média estimada pelo satélite TRMM, que já havia sido verificado na comparação sobre a bacia do São Francisco até Três Marias, foi novamente constatado aqui. Por isso, as comparações feitas doravante na bacia do Tapajós, bem como a simulação em modelo hidrológico, será feita com conjunto *SAT* atrasado em 25,5 horas.

A Figura 7. 5 mostra a dispersão entre a precipitação média diária do conjunto *PLU* e a precipitação média diária do conjunto *SAT* para o período de 2/1/1998 a 30/11/2004.

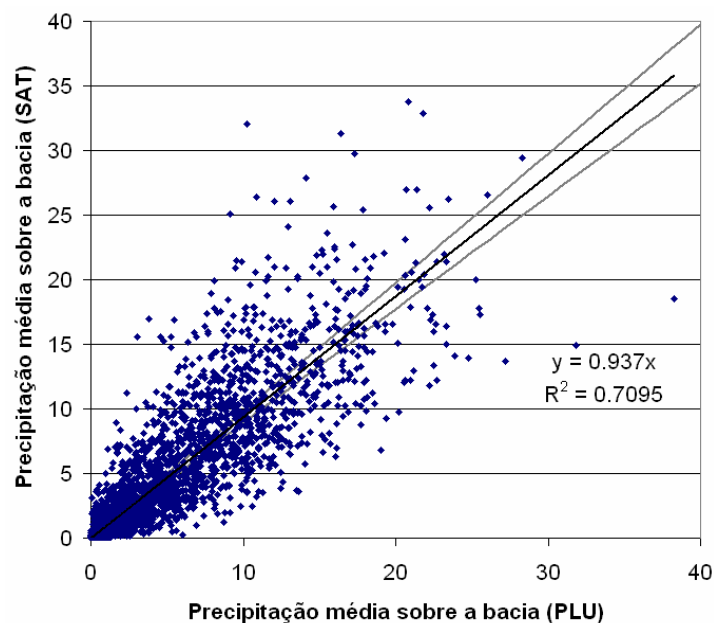


Figura 7. 5. Dispersão entre a chuva média estimada a partir dos pluviômetros e a partir do satélite TRMM sobre a bacia do Tapajós, reta de ajuste (preto) e limites do intervalo de confiança da estimativa para um nível de 5% (cinza)

A figura mostra uma dispersão maior entre os pontos do que no caso da bacia anterior, o que é natural, dada a densidade muito mais baixa da rede pluviométrica. Mesmo assim, o coeficiente de

correlação foi alto. O coeficiente angular da reta de ajuste é levemente inferior a um, indicando leve tendência de subestimativa por parte do TRMM. Esse coeficiente, no entanto, é fortemente influenciado por um evento intenso em que o TRMM subestimou em 50% a precipitação média sobre a bacia.

Pode-se notar também que as precipitações máximas sobre a bacia foram 50% inferiores às verificadas na bacia do São Francisco, devido ao fato de terem sido ponderadas sobre uma área 10 vezes maior.

A Figura 7. 6 mostra a precipitação média acumulada para os conjuntos *PLU* e *SAT*, no período entre 2/1/1998 e 30/11/2004.

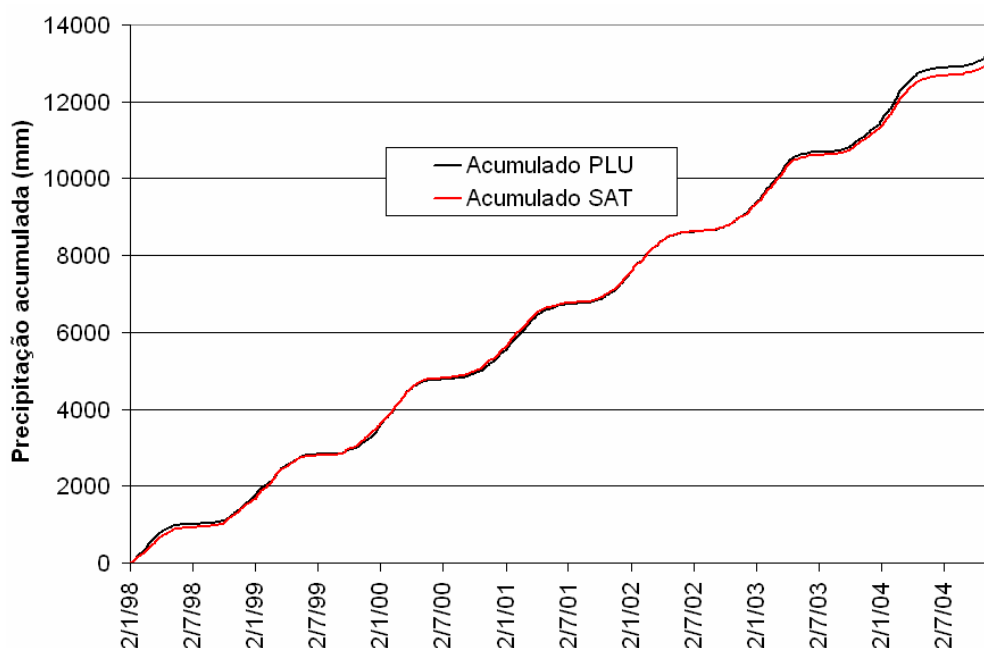


Figura 7. 6. Precipitação média acumulada sobre a bacia do Tapajós, período de 2/1/1998 a 30/11/2004

A figura mostra que, quando integrada no tempo e no espaço, a estimativa de satélite fornece resultados muito semelhantes aos obtidos a partir de redes pluviométricas e que, em termos médios, são muito coerentes. As curvas de precipitação acumulada são muito semelhantes. Apenas no fim do período é que as mesmas passam a destoar, sendo que o conjunto *SAT* passa a subestimar a precipitação média. Porém, a rede pluviométrica nessa bacia é tão esparsa que não se pode considerar que o conjunto *PLU* corresponda à “verdade de solo” (*ground-truth*).

Enquanto que o acumulado dos quase 7 anos na bacia do São Francisco foi de cerca de 9.000 mm (Figura 6. 10), no Tapajós, esse valor chegou a mais de 13.000 mm. É importante perceber que

o TRMM consegue distinguir de forma relativamente precisa regiões com diferentes regimes pluviométricos.

Para verificar a existência de sazonalidade na estimativa do satélite, foram calculados os acumulados mensais da precipitação média, mostrados na Figura 7. 7.

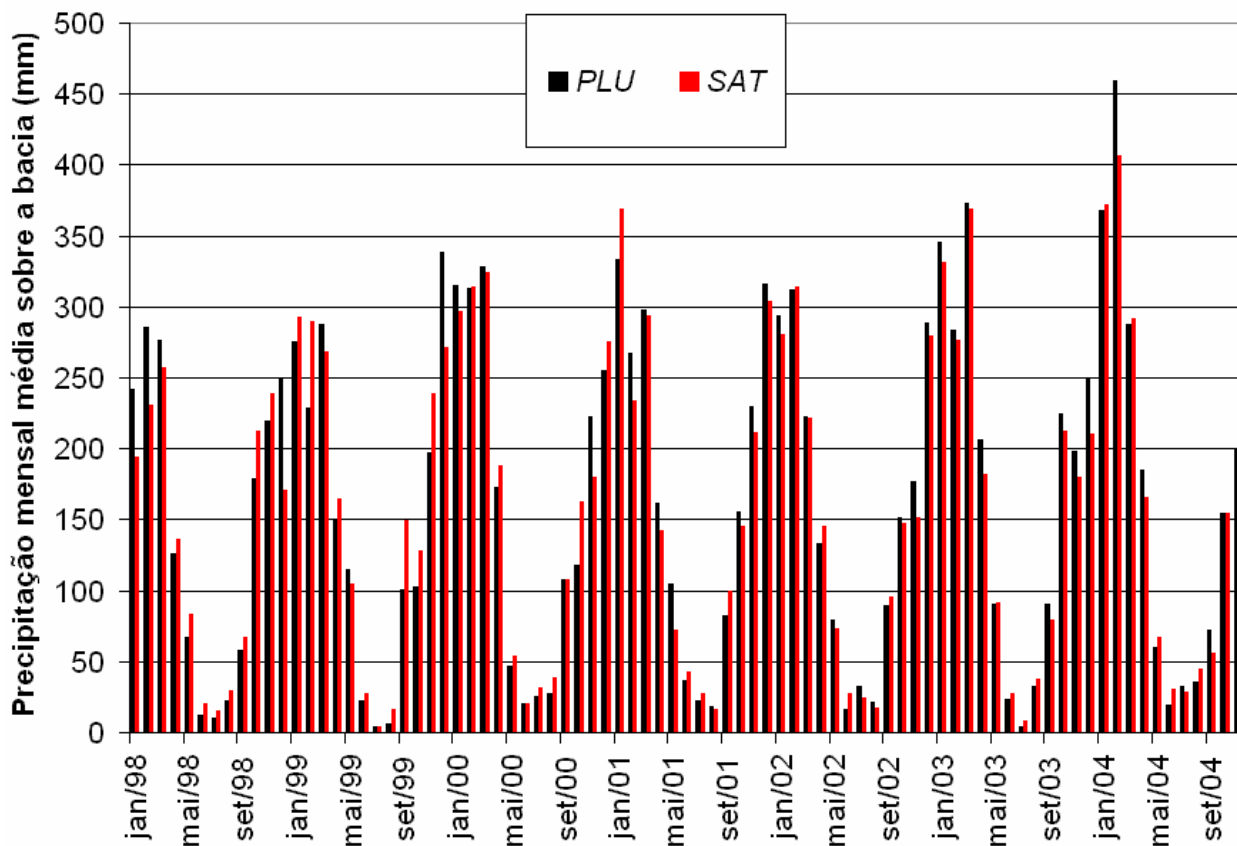


Figura 7. 7. Comparação entre totais precipitados mensais, período de janeiro de 1998 a novembro de 2004

A exemplo do ocorrido na análise da bacia do São Francisco, há uma tendência do satélite superestimar a precipitação nos meses mais secos. Já nos meses úmidos, o comportamento é um pouco mais aleatório, com uma leve tendência do satélite subestimar a precipitação média.

7.4.2. Comparação entre os campos de precipitação

A exemplo do que foi feito para a bacia do São Francisco, a Figura 7. 8 mostra o campo de diferenças relativas de precipitação acumulada sobre a bacia do Tapajós. Os pontos em preto mostram a localização dos pluviômetros usados na comparação e são numerados alguns pluviômetros de especial interesse.

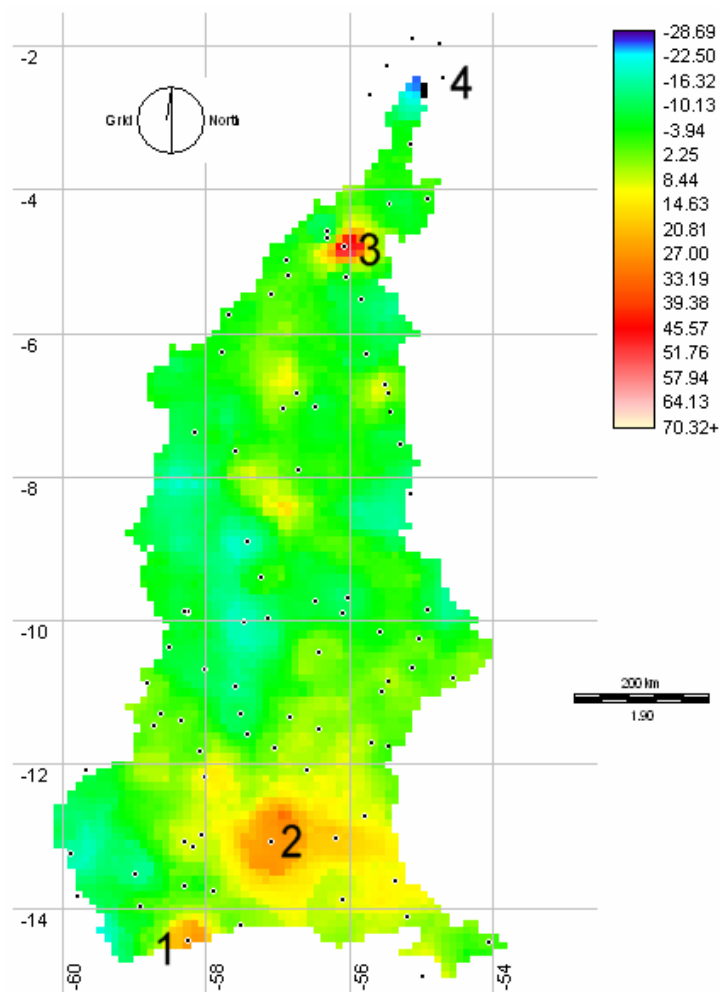


Figura 7. 8. Campo de diferenças relativas entre precipitação acumulada do conjunto SAT e acumulada do conjunto PLU, relativo ao período de 2/1/1998 a 30/11/2004, com pontos de diferenças maiores em destaque

A diferença relativa variou de -29% (o conjunto SAT subestimou em 29% a precipitação na célula) a +51% (o conjunto SAT superestimou em 51%). Em grande parte da bacia, no entanto, predominaram erros aceitáveis, que variavam de -15% a +15%. Em algumas regiões, notadamente no entorno de alguns postos numerados na figura, houve diferenças mais significativas, as quais repercutiram em um amplo raio ao redor do posto. Essa figura permite identificar postos que destoam de uma tendência mais generalizada para toda bacia e que, eventualmente, tenham problemas na sua medição. Para tentar corroborar essa hipótese, analisaram-se as estatísticas comparativas nestes postos.

A Tabela 7. 1 mostra a identificação desses postos, a precipitação média medida pelos mesmos no período analisado e a precipitação média anual no *pixel* do TRMM onde o mesmo se encontra.

Tabela 7. 1. Identificação dos postos em que houve diferenças significativas, precipitação média anual medida, precipitação média anual no *pixel* do TRMM onde o mesmo se encontra e diferença relativa, período de 1998 a 2004

Ponto	Código ANA	P média anual SAT (mm)	P média anual PLU (mm)	Diferença
1	01458002	1.799	1.351	33%
2	01357000	1.800	1.318	37%
3	00455003	2.280	1.504	52%
4	00254000	1.736	2.470	-30%

Nos pontos 1, 2 e 3, a precipitação média anual nos 7 anos analisados esteve bem inferior às médias normalmente encontradas na Amazônia e é possível que realmente haja erro na mensuração dos pluviômetros ali instalados. No ponto 4, por sua vez, a média do pluviômetro é bastante alta, enquanto que a média do *pixel* parece ser inferior ao normal. Eventualmente, aí o TRMM esteja subestimando a precipitação real, porém esse posto mereceria uma análise cuidadosa.

Para verificar se a diferença foi sistemática ou em algum período específico, foi calculada a média de cada um dos 7 anos, apenas a título de exemplo no posto correspondente ao ponto 1. As médias são mostradas na Tabela 7. 2.

Tabela 7. 2. Médias anuais no posto correspondente ao ponto 1

Ano	Plu	Sat	Diferença
1998	1.889	1.846	-2%
1999	1.214	1.707	41%
2000	1.137	1.705	50%
2001	1.470	1.819	24%
2002	1.235	1.593	29%
2003	1.234	1.868	51%
2004	1.271	2.052	61%

A tabela mostra que a partir do ano de 1999, a precipitação média obtida do pluviômetro esteve bem abaixo de padrões amazônicos. Eventualmente, isso poderia ser atribuído a “sombra pluviométrica” ou outro fenômeno, mas parece mais provável que este pluviômetro esteja fora do padrão, operando sob uma árvore ou esteja danificado, e realmente meça menos precipitação do que efetivamente ocorre.

Essa hipótese é reforçada pela figura 7.9, que mostra o mapa de isoietas de precipitação média anual, obtidas dos dois conjuntos distintos de dados pluviométricos. A região correspondente aos pontos 1 e 2 na Figura 7. 8 apresenta uma depressão na superfície pluviométrica

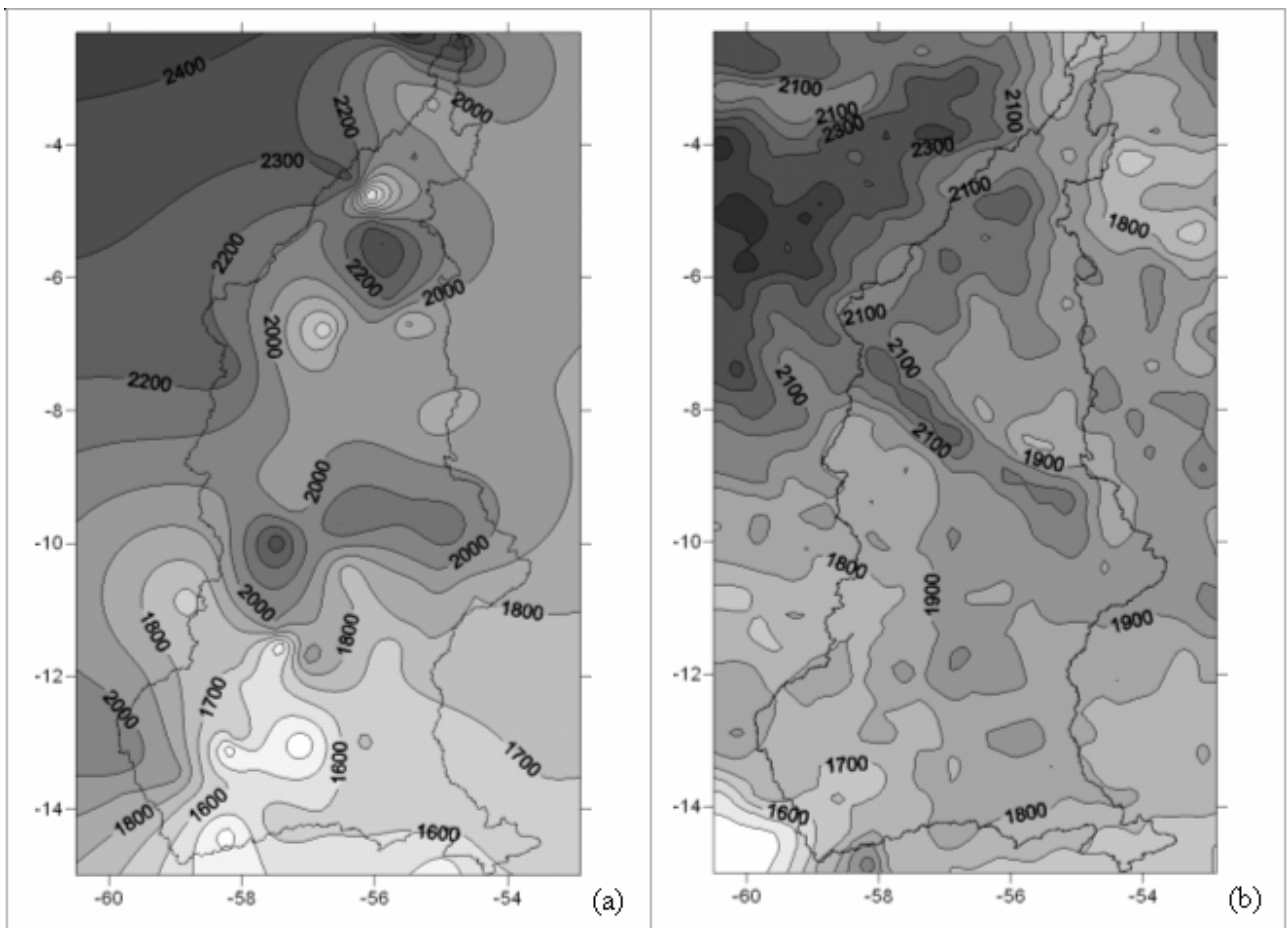


Figura 7. 9. Mapa de isoietas de pluviosidade média anual gerado a partir de pluviômetros (a) e a partir dos *pixels* do TRMM (b), referente ao período de 1998 a 2004

Já o mapa de isoietas gerado das estimativas do satélite (figura 7.9b) tem variação mais gradual. Esse mapa apresenta outra característica interessante: o aumento da precipitação numa faixa orientada de SE-NW, bem no centro da bacia, adjacente à Serra do Cachimbo. Ao que parece, ocorre aí um efeito de orografia significativo, o que, de certa forma, é positivamente surpreendente, pois havia consenso na literatura de que as técnicas de estimativa por satélite em geral não identificam esse tipo de precipitação.

Assim, a análise feita parece constituir-se numa interessante ferramenta para consistência de dados pluviométricos. O TRMM funciona, neste caso, como uma espécie de identificador de postos problemáticos em bacias hidrográficas.

A Figura 7. 10 mostra o campo de coeficientes de correlação entre *PLU* e *SAT* nas 3971 células nas quais a bacia foi discretizada.

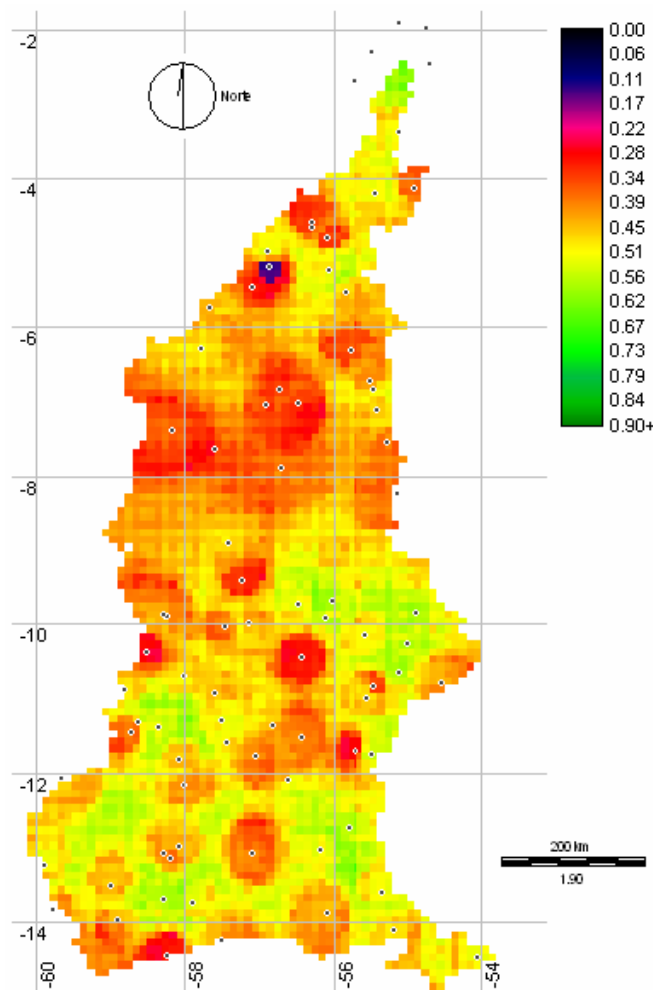


Figura 7. 10. Campo de correlações entre as séries de chuva interpolada dos pluviômetros e interpolada do TRMM de 2/1/1998 a 30/11/2004 sobre as células do modelo da bacia do Tapajós.

O coeficiente de correlação variou entre 0,13 e 0,64, valores que podem ser considerados baixos. A exemplo do ocorrido na análise da bacia do São Francisco até Três Marias, os maiores coeficientes foram encontrados em células distantes dos pluviômetros, provavelmente em razão da natureza suavizante do procedimento de interpolação. De toda forma, a comparação entre os conjuntos *PLU* e *SAT* nessa bacia deu resultados sensivelmente piores do que na bacia anterior, tanto em termos de precipitação acumulada quanto de coeficiente de correlação. Algumas hipóteses aventadas para isso são:

- menor número de pluviômetros por *pixel* do TRMM (o termo de flutuação da equação 3.5 é maior);
- o TRMM produz estimativas piores na bacia do Tapajós, o que pode estar relacionado à menor frequência de passagem do sensor de microondas em regiões de baixa latitude;

- a ocorrência de precipitação orográfica (“chuva quente”) em regiões específicas da bacia talvez não esteja sendo devidamente contemplada pelo satélite;

- os postos pluviométricos estão mal localizados. Na fase de preparação de dados, constatou-se que diversos postos fluviométricos do cadastro da ANA tinham coordenadas com problemas, situando-se longe dos rios onde efetivamente se encontram os postos. No caso de postos fluviométricos, pôde-se corrigir a localização de forma aproximada com base em imagens de satélite ou mapas, mas no caso de postos pluviométricos, isso não foi possível;

- por fim, os possíveis problemas de consistência de dados pluviométricos, já aventados na análise do campo de diferenças relativas entre acumulados, também acabam por influir fortemente no valor do coeficiente de correlação.

7.5. A geologia do Tapajós e suas implicações na hidrologia

Em grande parte, o comportamento hidrológico de um determinado tipo de solo se deve à rocha matriz a partir da qual o solo foi formado por intemperização. É de se supor, por exemplo, que rochas sedimentares dêem origem a solos mais permeáveis e conseqüentemente com maior capacidade de regularização natural. Na bacia do Tapajós, isso parece ser particularmente verdade, como será mostrado a seguir. A Figura 7. 11 mostra a localização da bacia do Tapajós no mapa geológico brasileiro.

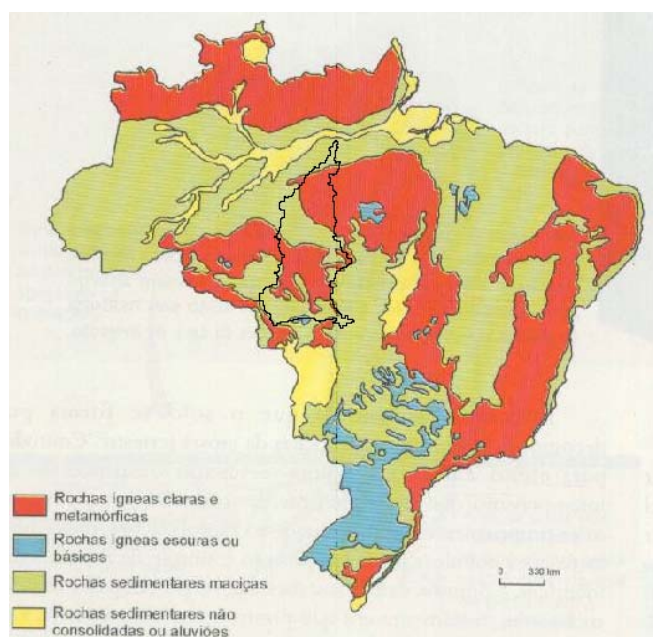


Figura 7. 11. Mapa geológico indicando esquematicamente a distribuição das principais rochas-matriz dos solos brasileiros, situando o contorno da bacia do Tapajós. (adaptado Lepsch, 2002).

Na Figura 7. 11, percebe-se que a região sul da bacia, correspondente, principalmente, às cabeceiras do rio Juruena, possui uma matriz composta, basicamente, de rochas sedimentares. À medida que se avança em direção ao norte, há uma transição para um substrato formado de rochas ígneas e metamórficas. Supostamente, o primeiro grupo se trata de uma rocha muito mais porosa do que o segundo, que dá origem a um solo muito mais arenoso, permeável e, provavelmente, profundo. Essa figura está bastante correlacionada com a Figura 7. 3, pois as zonas de substrato metamórfico são responsáveis pela quase totalidade de solos litólicos e afloramentos rochosos, enquanto que as regiões de substrato sedimentar correspondem em grande parte a solos arenosos.

De fato, essa diferença parece ter implicações na hidrologia das diferentes sub-bacias do Tapajós. A Figura 7. 12 mostra o contraste entre hidrogramas medidos em exutórios de sub-bacias situadas inteiramente em cada um desses grupos de substrato.

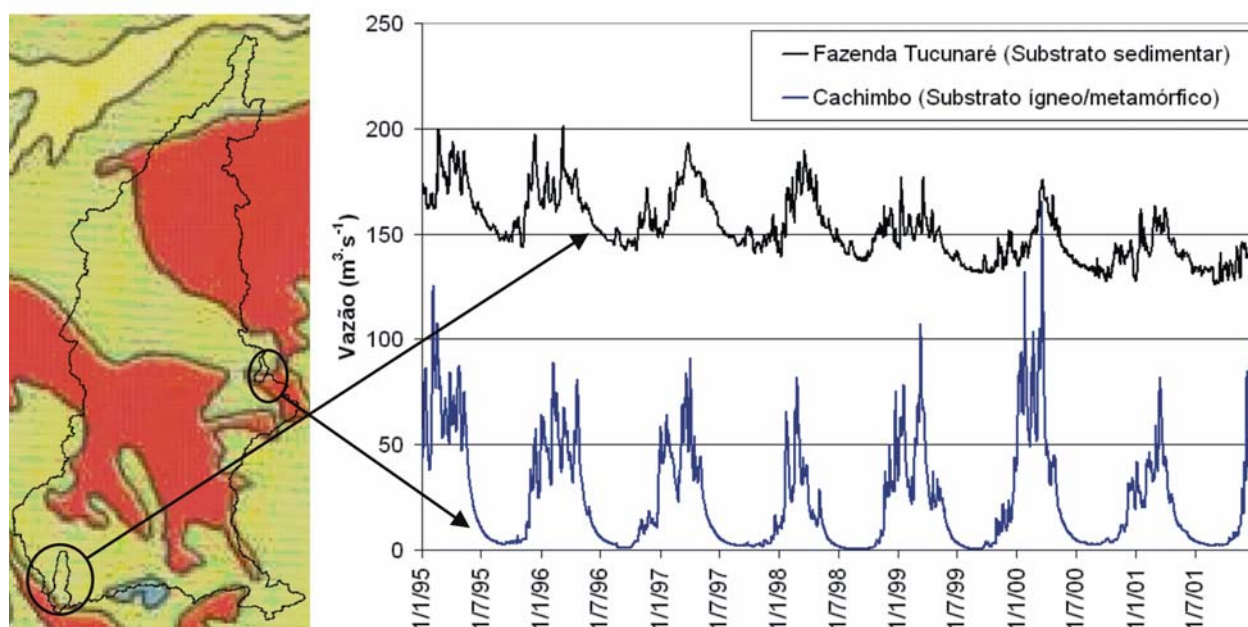


Figura 7. 12. Comparação entre os hidrogramas medidos nos postos Fazenda Tucunaré (17091000), com área de 4383 km² (bacia situada sobre substrato sedimentar), e Cachimbo (17350000), com área de 1035 km² (bacia situada sobre substrato ígneo), período de 1/1/1995 a 31/12/2001

Os hidrogramas mostrados na Figura 7. 12 mostram dois extremos em termos de capacidade de regularização situados na mesma bacia hidrográfica, distantes cerca de 600km uma da outra. A bacia delimitada pelo posto de Fazenda Tucunaré, no rio Juruena, tem alta capacidade de regularização, depleção muito lenta, uma baixa razão entre vazão de pico e de base e uma alta sensibilidade das vazões mínimas à diminuição da precipitação. A bacia delimitada pelo posto de Cachimbo no rio Braço Sul, em contrapartida, tem depleção rápida, apresenta alta razão entre vazão

de pico e de base, sendo que esta última chega próxima a zero durante as estiagens, o que acarreta também uma baixa sensibilidade das vazões mínimas à variação da precipitação. Essa diferença na sensibilidade das vazões mínimas às variações nas chuvas já foi aventada por Meller et al. (2005). Deve ser considerada ainda uma influência do efeito de escala nessa comparação, uma vez que bacias menores tendem a ser menos regularizadas. Mesmo assim, a distinção entre as duas é bastante evidente. É razoável esperar que um mesmo tipo de solo, ou um mesmo bloco de tipo e uso, respondam de maneira muito distinta em cada uma dessas sub-bacias, assumindo conseqüentemente valores muito distintos de parâmetros.

7.6. Simulação na bacia do Tapajós

A exemplo da aplicação no São Francisco, a bacia foi dividida em sub-bacias, de acordo com a disponibilidade de dados em postos fluviométricos, conforme Tabela 7. 3.

Tabela 7. 3. Postos fluviométricos considerados na simulação, com disponibilidade de dados e áreas de drenagem real e no modelo

Código	Rio	Posto	Período com dados	Área real (km ²)	Área no modelo (km ²)	Erro (%)
17091000	Juruena	Fazenda Tucunaré	1993-2004	4.383	4.328	-1,3%
17092900	Papagaio	Utiariti	1983-1986*	4.412	4.454	1,0%
17092950	Sacre	Fazenda Satélite	1995-2003	6.671	6.617	-0,8%
17093000	Juruena	Fontanilhas	1978-2004	57.958	57.955	0,0%
17095000	do Sangue	Fazenda Tombador	1984-2004	25.918	25.974	0,2%
17098000	Juruena	Fazenda Vale do Tucana	1976-1977	93.911	93.902	0,0%
17100000	Arinos	Fazenda Tauá	1976-1977	14.676	14.678	0,0%
17120000	Arinos	Porto dos Gaúchos	1976-2004	36.913	36.939	0,1%
17122000	dos Peixes	Rio dos Peixes	2000-2002	14.375	14.341	-0,2%
17123000	Arinos	Rio Arinos	2000-2003	57.069	57.117	0,1%
17130000	Juruena	Foz do Juruena	1987-1994*	182.965	182.929	0,0%
17230000	Verde	Lucas do r. Verde	1976-2003*	5.327	5.301	-0,5%
17200000	Teles Pires	Porto Trombador	1976-2004	10.815	10.814	0,0%
17210000	Teles Pires	Teles Pires	1976-2004*	13.960	13.951	-0,1%
17280000	Teles Pires	Cachoeirao	1976-2004*	34.589	34.625	0,1%
17300000	Teles Pires	Fazenda Tratex	1995-2002	40.780	40.824	0,1%
17340000	Teles Pires	INDECO	1976-2002	52.288	52.272	0,0%
17360000	Peixoto de Azevedo	Estrada Cuiabá-Santarém	1976-1980/ 1988-1990/ 2003-2004	11.200	11.216	0,1%
17350000	Braço Sul	Cachimbo	1979-2001	1.035	978	-5,5%

* com longo período de falhas no intervalo

Tabela 7.3. (cont). Postos fluviométricos considerados na simulação, com disponibilidade de dados e áreas de drenagem real e no modelo

17345000	Braço Norte	Base do Cachimbo	1980-2004	568	612	7,6%
17380000	Teles Pires	Jusante Foz P.A.	1980-2004*	81.819	81.807	0,0%
17410000	Teles Pires	Santa Rosa	1982-2002*	132.941	133.027	0,1%
17420000	Teles Pires	Três Marias	1976-2002*	138.883	138.914	0,0%
17430000	Tapajós	Barra do São Manuel - jusante	1976-2002*	333.598	333.626	0,0%
17450000	Cururu	Missão Cururu	1979-1988	6.124	6.137	0,2%
17500000	Tapajós	Fortaleza	1985-2002*	364.145	364.131	0,0%
17610000	Crepori	Creporizão	1999-2002*	6.222	6.269	0,8%
17650000	Tapajós	Jatobá	1976-1997	388.422	388.394	0,0%
17650002	Tapajós	Acará do Tapajós	1996-2003	390.833	390.863	0,0%
17670000	Novo	Travessão Pataua	1981-1982	10.285	11.300	9,9%
17672000	Novo	Garimpo Surubim	1987-1988	11.341	11.300	-0,4%
17660000	Jamanxim	Novo Progresso	1987-1990	12.420	12.398	-0,2%
17675000	Jamanxim	Jardim do Ouro	1987-1990/ 1999-2003	37.601	37.602	0,0%
17680000	Jamanxim	Jamanxim	1985-1991*	40.406	40.437	0,1%
HYBAM	Tapajós	Itaituba	1995-2004	459.333	459.312	0,0%
17825000	Cupari	Fazenda Goiano	1988-1990	5.912	5.932	0,3%

* Com longo período de falhas no intervalo

Já a rede de drenagem foi gerada a partir do modelo numérico de terreno (MNT), a partir do algoritmo desenvolvido por Paz (2005). Essa rede foi posteriormente modificada de forma a corrigir pequenas distorções ainda existentes e ajustar a área das sub-bacias do modelo à área real das sub-bacias. É importante salientar que essa representação é apenas topológica, isto é, ela reproduz a ordem em que o escoamento deve ser processado no modelo, de montante para jusante. O dados de comprimento do rio e declividade, em cada célula da bacia, são obtidos célula por célula utilizando programas computacionais de desenho e de geoprocessamento e fornecidos ao modelo por meio de um arquivo de entrada no formato texto. Para a bacia do Tapajós, a discretização resultou em um total de 3917 células com resolução de 0,1 grau (cerca de 11 x 11 km). A rede resultante é mostrada na Figura 7. 13.

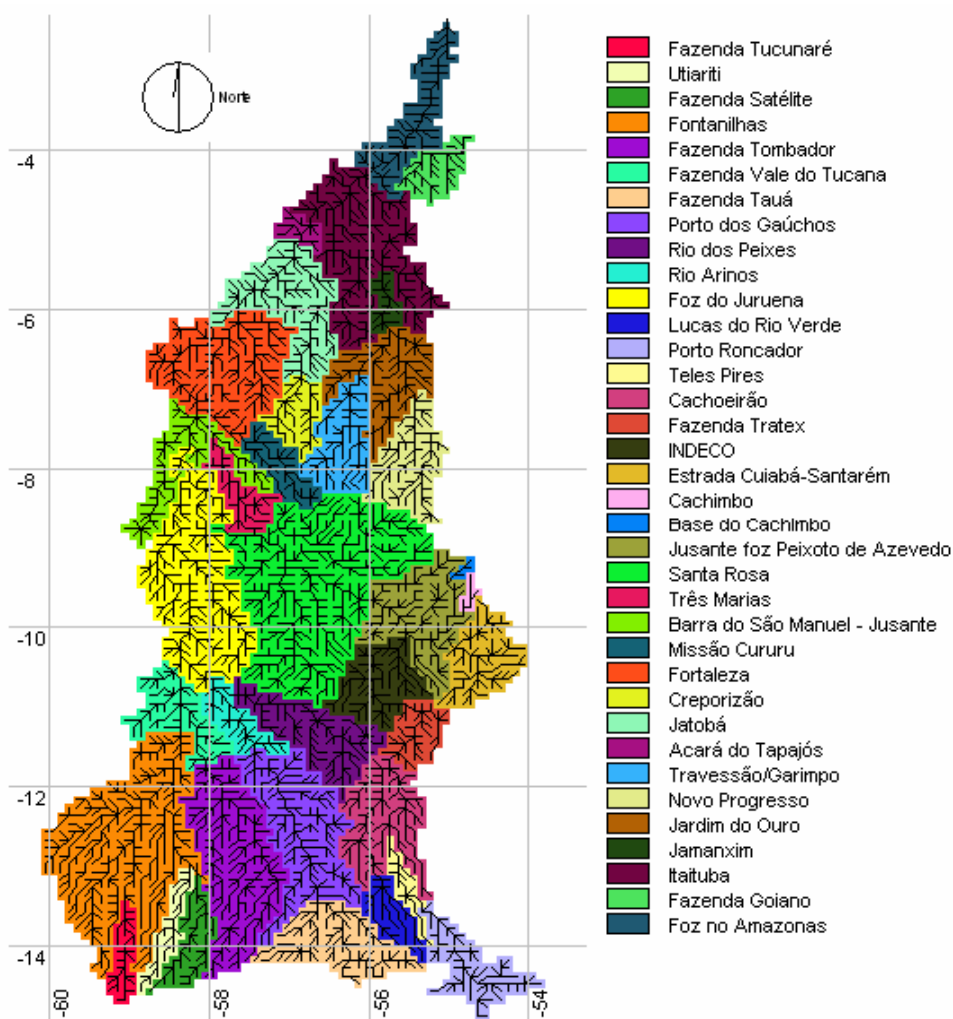


Figura 7. 13. Rede de drenagem discretizada para o modelo e divisão sub-bacias consideradas

Nesse ponto do trabalho, foram constatados diversos problemas referentes às características geográficas das estações hidrológicas. As áreas de drenagem de vários postos fluviométricos, obtidas do banco de dados da ANA, pareciam não ser compatíveis com sua localização. Em outros casos, as coordenadas fornecidas não se situavam no eixo de rio algum. Possivelmente, o cálculo das áreas foi feito de forma expedita ou com metodologias obsoletas. Nos postos em que foram verificados problemas, a área de contribuição corrigida foi delimitada a partir do MNT de 90m com o auxílio do software *Idrisi Kilimanjaro*. Postos que pareciam estar mal localizados foram relocados com base em mapas do RADAMBRASIL em que as respectivas fazendas eventualmente constassem, ou então em composições coloridas LANDSAT TM. A Tabela 7. 4 sintetiza as correções feitas.

Tabela 7. 4. Postos com problemas de localização ou área de drenagem no cadastro da ANA e correções efetuadas

Código	Nome	Área <i>Hidroweb</i>	Área corrigida	Erro	Obs
17091000	Fazenda Tucunará	NI	4.383		área corrigida com base no MNT de 90m
17092900	Utariiti	NI	4.412		correção - MNT de 90m
17098000	Fazenda Vale do Tucana	98.814	93.911	-5%	relocada pelo mapa do RADAM/ correção MNT 90m
17100000	Fazenda Tauá	13.859	14.675	6%	correção - MNT de 90m
17122000	Rio dos Peixes	NI	14.374		área corrigida com base no MNT de 90m
17123000	Rio Arinos	NI	57.068		calculado MNT 90m
17130000	Foz do Juruena	NI	182.965		correção baseada no MNT de 90m
17200000	Porto Roncador	9.514	10.814	12%	correção - MNT de 90m
17210000	Teles Pires	12.659	13.959	9%	correção - MNT de 90m
17340000	INDECO	51.277	52.288	2%	corrigido - MNT de 90m
17345000	Base do Cachimbo	390	568	31%	corrigido com base no MNT de 90m
17410000	Santa Rosa	133.105	132.941	0%	correção - MNT de 90m
17450000	Missão Cururu	7.687	6.124	-26%	correção baseada no MNT de 90m/problemas na localização
17500000	Fortaleza	358.657	364.144	2%	correção - MNT de 90m
17610000	Creporizão	6.290	6.222	-1%	deslocado para oeste/ correção baseada no MNT de 90m
17650000	Jatobá	387.378	388.421	0%	correção - MNT 90m
17650002	Acará do Tapajós	389.856	390.833	0%	correção - MNT 90m
17660000	Novo Progresso	12.342	12.420	1%	correção - MNT 90m
17670000	Travessão Patauí	10.285	10.285	0%	mal localizada
17675000	Jardim do Ouro	37.500	37.601	0%	correção baseada no MNT de 90m
17730000	Itaituba	451.559	459.333	2%	correção MNT 90m

Da análise combinada da Figura 7. 13 e da Tabela 7. 3, pode-se verificar que a rede fluviométrica da bacia do Tapajós é bastante deficiente. Há uma grande sub-bacia inteiramente controlada pelo posto Santa Rosa, no rio Teles Pires, uma vez que não há postos com dados nos rios Apiacás e São Benedito, dois importantes afluentes daquele rio. A sub-bacia controlada pelo posto

de Foz do Juruena, além de ser bastante grande, possui pequena extensão de série, prejudicando seriamente as análises.

Percebe-se, também, na Tabela 7. 3, que existe um grande número de sub-bacias nas quais não existem dados de vazão medidos no período de disponibilidade de estimativas de precipitação por satélite (1998 em diante).

Nas sub-bacias em que isso ocorreu, procedeu-se da seguinte forma: os parâmetros foram calibrados apenas para o conjunto *PLU* no período anterior a 1998 em que havia dados pluviométricos disponíveis. Os modelos MGB-SAT e MGB-MISTO não foram calibrados nessas sub-bacias, adotando-se os valores de parâmetros obtidos na calibração do modelo MGB-PLU em período anterior. Evidentemente, isso prejudica os resultados dos modelos MGB-SAT e MGB-MISTO, por embutir distorções inerentes ao processo de interpolação de dados pluviométricos nos parâmetros do modelo. A alternativa seria agrupar essas sub-bacias em sub-bacias de jusante que possuíssem dados de vazão no período de 1998 em diante, e calibrá-las em conjunto. Essa opção foi descartada porque as sub-bacias resultantes do agrupamento resultariam muito grandes. O procedimento adotado aqui permite que, em linhas gerais, o comportamento hidrológico da bacia nos trechos entre postos fluviométricos seja razoavelmente representado, uma vez que já se verificou que os conjuntos *SAT* e *MISTO* têm similaridade com o conjunto *PLU*.

De forma geral, quando as sub-bacias tinham dados no período de interesse, se adotou o procedimento já usado no caso da calibração da bacia do São Francisco, ou seja, as sub-bacias foram sendo calibradas de montante para jusante, sendo que a cada nova calibração não se faziam modificações em bacias a montante. Essa estratégia tem uma desvantagem, que é a diminuição da sensibilidade dos parâmetros à medida que se avança para jusante, uma vez que as áreas incrementais passam a ter progressivamente menos peso na área total. Para contornar esse problema, alguns autores sugerem a calibração de várias sub-bacias simultaneamente, adotando-se ponderadores para as funções-objetivo de cada sub-bacia. Essa estratégia não foi adotada aqui porque se buscou representar da melhor forma os hidrogramas nos trechos entre dois postos fluviométricos subseqüentes.

A Figura 7. 14 mostra os blocos de tipo e uso do solo, resultantes do cruzamento da classificação de imagens de satélite com os mapas temáticos digitalizados de tipos de solo do RADAMBRASIL. A Tabela 7. 5 mostra a proporção de cada bloco sobre a área total da bacia do Tapajós

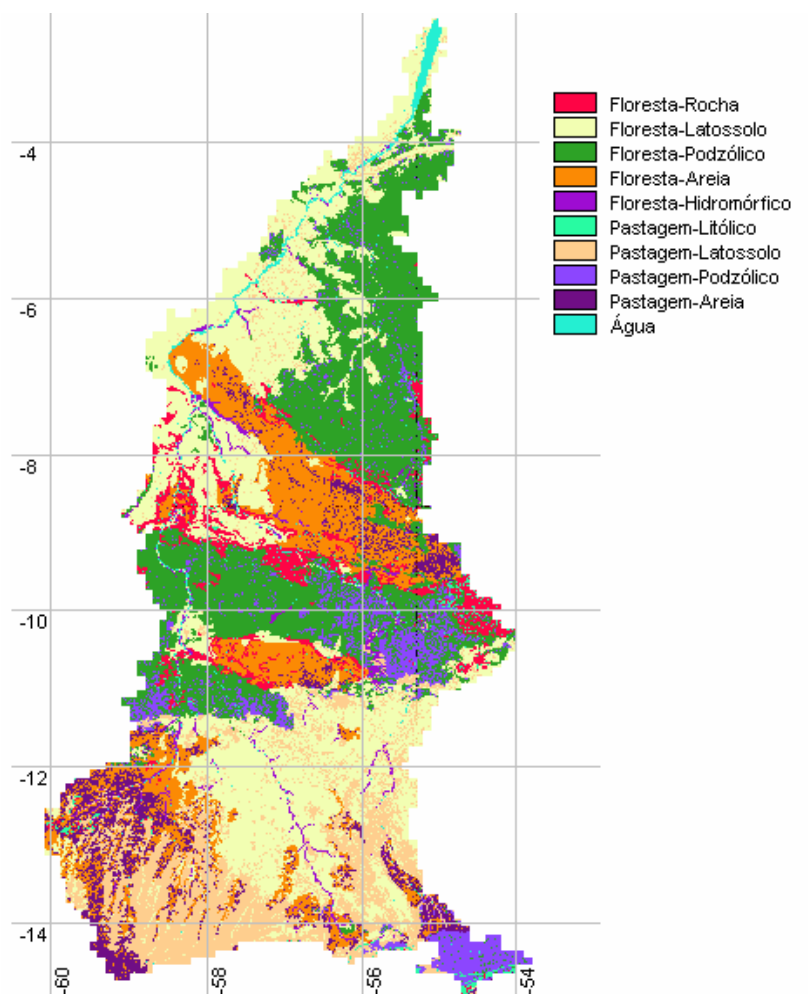


Figura 7. 14. Blocos de tipo e uso de solo na bacia do Tapajós

Tabela 7. 5. Percentagem de cada bloco de tipo e uso de solo na bacia do Tapajós

Bloco	Cobertura
Floresta-Rocha	4.9%
Floresta-Latossolo	28.8%
Floresta-Podzólico	24.3%
Floresta-Areia	13.4%
Floresta-Hidromórfico	1.5%
Pastagem-Litólico	0.8%
Pastagem-Latossolo	13.1%
Pastagem-Podzólico	6.0%
Pastagem-Areia	5.9%
Água	1.2%

É interessante notar que, embora os blocos contendo pastagem ou agricultura representem 25% do total, eles ocorrem preferencialmente em alguns solos. Em áreas cobertas por latossolo, 31% da cobertura é de campo ou agricultura, enquanto que em solos litólicos, apenas 15%. Isso está

bastante de acordo com o potencial agrícola de cada solo, e mostra como a ocupação antrópica está ligada à pedologia.

7.6.1. Calibração com os diferentes conjuntos

Foram realizadas ao todo 82 calibrações na bacia do Tapajós, sendo 32 do modelo MGB-PLU, 25 do MGB-SAT e 25 do MGB-MISTO. Os modelos MGB-SAT e MGB-MISTO só foram calibrados em sub-bacias onde havia dados de vazão no período de 1998 a 2004. Já o modelo MGB-PLU foi calibrado em todas as bacias. Os resultados da calibração em termos do coeficiente R2 são mostrados na Figura 7. 15.

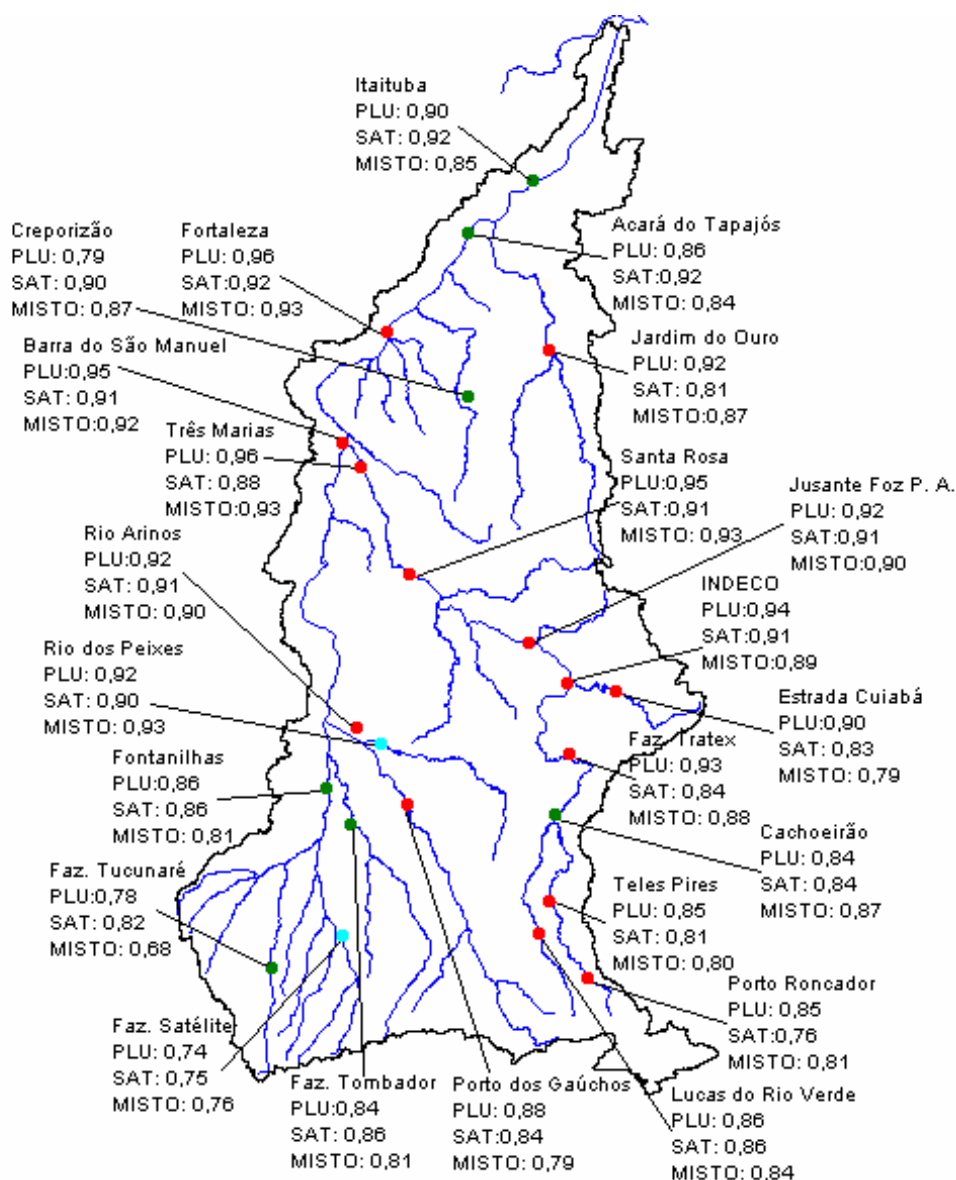


Figura 7. 15. Resultados da calibração dos três modelos considerando o coeficiente R2. A cor do posto indica o modelo que obteve o melhor desempenho na sub-bacia correspondente: MGB-PLU (vermelho), MGB-SAT (verde) e MGB-MISTO (azul).

Não são mostrados na Figura 7. 15 os resultados nos postos calibrados apenas com o conjunto *PLU* em períodos anteriores a 1998. Nos postos Fazenda Tauá e Fazenda Vale do Tucana, a série era tão curta que se considerou inútil realizar calibrações, de forma que suas áreas foram agregadas ao posto de montante. Já os postos Cachimbo e Base do Cachimbo não têm seus resultados mostrados aqui, por conveniência gráfica e por terem áreas de drenagem muito pequenas.

Pode-se perceber que na maioria dos casos, o modelo MGB-*PLU* ainda logrou obter o melhor desempenho. Mesmo na porção central da bacia, onde a escassez de postos pluviométricos é maior, a calibração do MGB-*PLU* alcançou os maiores valores de R^2 . A Figura 7. 16 mostra o ajuste no posto de Três Marias, última estação fluviométrica no rio Teles Pires antes da confluência com o rio Juruena.

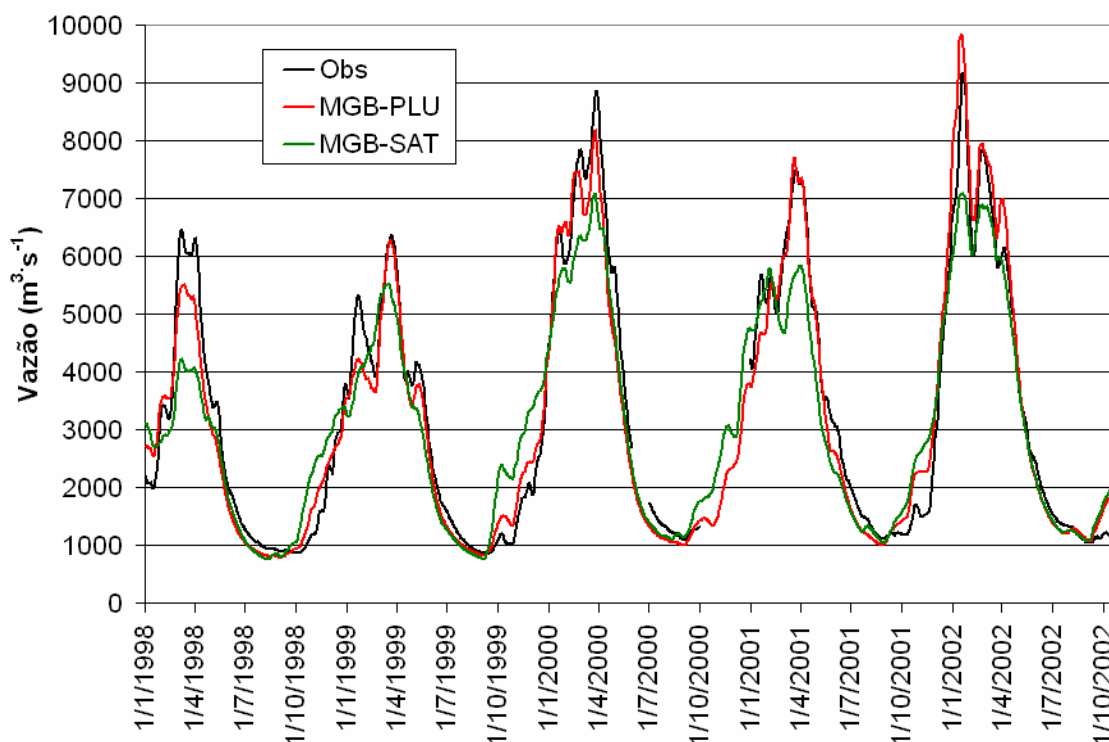


Figura 7. 16. Hidrogramas resultantes da calibração dos modelos MGB-*PLU* e MGB-*SAT* em Três Marias (17042000), no rio Teles Pires, área de 138.883 km²

Observa-se que a qualidade do ajuste do MGB-*PLU* é muito boa. Alguns picos de vazão estão muito bem representados, em outros o MGB-*PLU* chegou bem mais próximo de acertar do que o MGB-*SAT*.

O modelo MGB-*SAT* obteve melhores desempenhos em algumas sub-bacias, notadamente na porção sudoeste da bacia do Tapajós. Essa região é marcada por rios com grande capacidade de

regularização natural, como o rio Juruena e o rio do Sangue. O ajuste dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT no posto Fazenda Tombador, no rio do Sangue, é mostrado na Figura 7. 17.

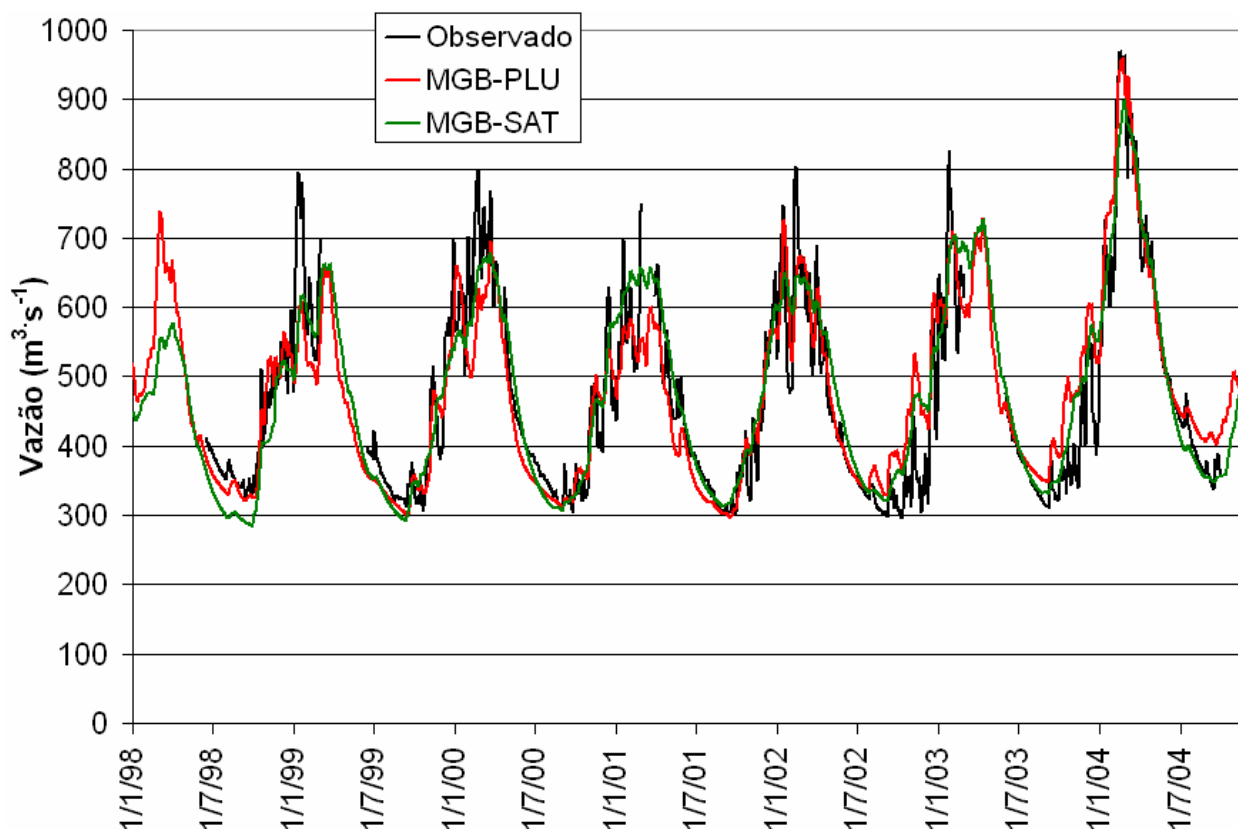


Figura 7. 17. Ajuste dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT no posto Fazenda Tombador, no rio do Sangue (17095000), área de 25.918 km²

Percebe-se que o MGB-SAT conseguiu ajustar melhor a maioria das recessões do hidrograma. As primeiras cheias do período úmido também são mais bem representadas. Já os picos de cheia nem sempre mostram um bom ajuste, porém o MGB-PLU tampouco consegue aí um melhor desempenho.

O mesmo comportamento foi observado nos postos Fazenda Tucunaré, no rio Juruena, e Fazenda Satélite, no rio Sacre, ambos rios com grande contribuição do escoamento de base. Os resultados apontam para uma tendência do MGB-SAT apresentar melhores resultados neste tipo de bacia. Possivelmente, em bacias com alta regularização natural, o desempenho do modelo é mais sensível a uma correta representação da distribuição espacial da chuva, e menos sensível a erros nos picos da mesma, dado que a grande capacidade de infiltração amortece mesmo chuvas muito fortes. Essa hipótese explicaria o melhor desempenho do MGB-SAT nessas bacias.

Curiosamente, o modelo MGB-PLU veio tendo o melhor desempenho ao longo de toda a bacia, porém na porção inferior da bacia, de Fortaleza a Acará do Tapajós, o coeficiente R2 do MGB-PLU cai de 0,96 para 0,86, enquanto que MGB-SAT se mantém estável no valor de 0,92. Já MGB-MISTO cai de 0,93 para 0,84. Os hidrogramas de ajuste do MGB-PLU e MGB-SAT nestes dois postos são mostrados na Figura 7. 18.

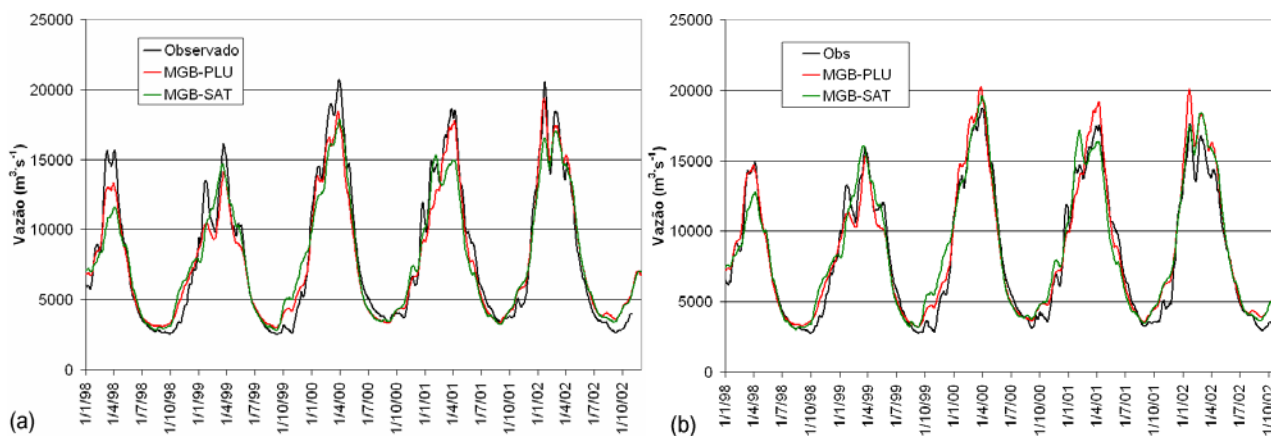


Figura 7. 18. Ajustes dos modelos MGB-PLU e MGB-SAT nos postos de Fortaleza (17500000) e Acará do Tapajós (17650002)

A sub-bacia Acará do Tapajós está quase inteiramente localizada numa região de baixa correlação entre os conjuntos PLU e SAT (Figura 7. 10). Tudo indica que o posto que causa a baixa correlação está mal localizado ou possui problemas de medição ou consistência. Esse posto afeta fortemente os resultados dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO, piorando-os. Também contribui o fato de que há um problema na continuidade dos dados medidos, dado que a vazão de pico diminui de montante para jusante, provavelmente devido a um erro na curva-chave de um dos dois postos.

Por fim, o modelo MGB-MISTO não obteve bom resultado na bacia do Tapajós como um todo. Os valores das funções-objetivo foram quase sempre inferiores às dos outros dois modelos, em alguns casos situou-se em um valor intermediário entre esses. Nos postos onde o MGB-MISTO teve o melhor desempenho entre os três, a diferença foi muito pequena.

Na Figura 7. 19, são mostrados os ajustes realizados no posto de Três Marias, porém comparando os modelos MGB-PLU e MGB-MISTO.

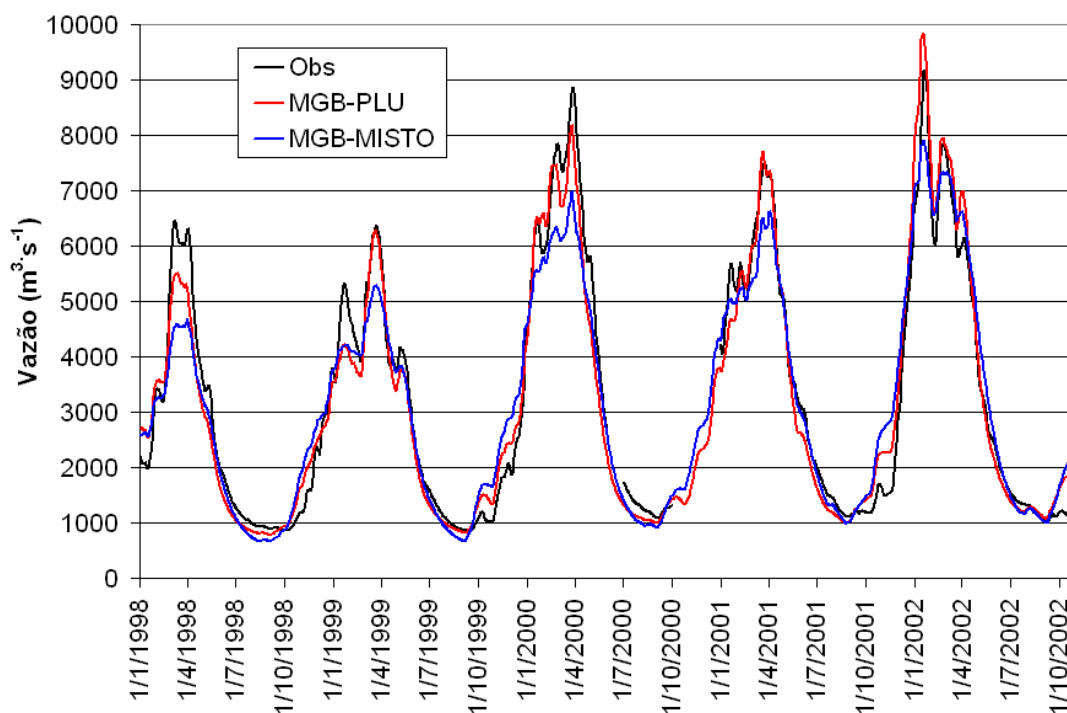


Figura 7. 19. Hidrogramas resultantes da calibração dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO em Três Marias (17042000), no rio Teles Pires, área de 138.883 km²

O MGB-MISTO conseguiu um melhor resultado do que MGB-SAT na calibração nesta sub-bacia, porém ainda inferior ao MGB-PLU. Era esperado, entretanto, que MGB-MISTO produzisse os melhores resultados entre os três conjuntos. Ao invés de melhorar os resultados, a estimativa do satélite parece incorporar mais incerteza no campo de precipitação obtido de pluviômetros.

A razão para o mau desempenho do modelo MGB-MISTO provavelmente está ligada à introdução de um erro no volume total precipitado, hipótese já aventada anteriormente neste trabalho. Quando a diferença interpolada numa célula é maior do que a precipitação estimada pelo satélite na mesma célula, a precipitação corrigida resulta negativa. Nas células em que isso ocorreu, a precipitação foi corrigida para zero. O resultado é que, em termos médios na bacia, o conjunto *MISTO* superestima o volume precipitado. De fato, a calibração do modelo MGB-MISTO produziu os maiores valores de capacidade de armazenamento dos blocos, de forma a corrigir o balanço hídrico

Vê-se que o modelo MGB-MISTO foi inferior aos outros modelos na maioria dos casos, e quando foi melhor, o foi apenas por uma pequena diferença. Assim, a pequena melhora do resultado do modelo não parece justificar a adoção de uma metodologia relativamente complexa para interpolação, que usa dados de duas fontes distintas.

Os resultados dos três modelos em termos do coeficiente R2 do logaritmo das vazões são apresentados na Figura 7. 20.

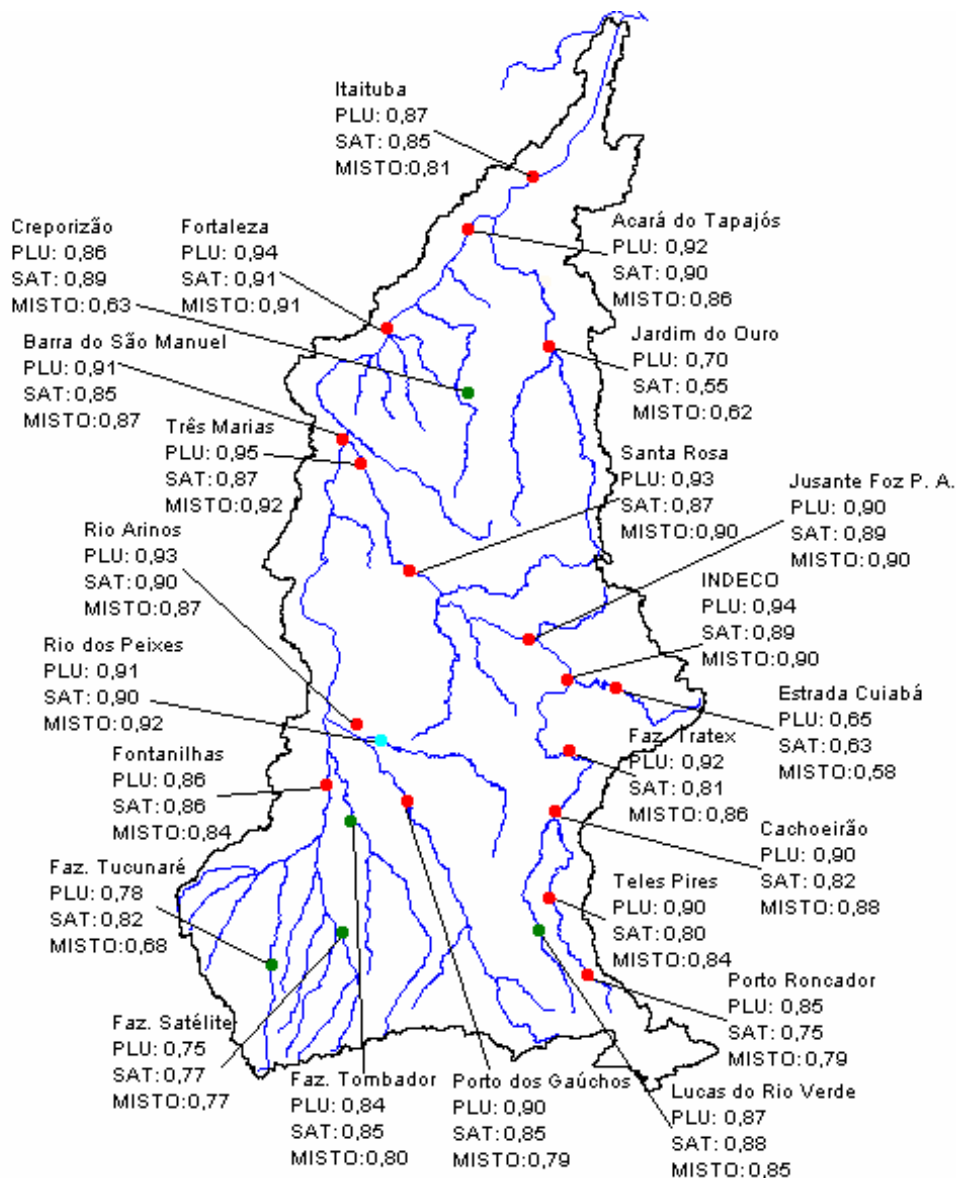


Figura 7. 20. Resultados da calibração dos três modelos considerando o coeficiente R2 do logaritmo das vazões. A cor do posto indica o modelo que obteve o melhor desempenho na sub-bacia correspondente: MGB-PLU (vermelho), MGB-SAT (verde) e MGB-MISTO (azul).

O coeficiente R2 dos logaritmos dá menos peso às vazões altas, sendo por isso mais adequado para representar o ajuste das estiagens. Os resultados em termos deste coeficiente foram muito parecidos com aqueles obtidos para R2. Nas sub-bacias altamente regularizadas do sudoeste da bacia, o modelo MGB-SAT logrou o melhor desempenho, porém nas maiores sub-bacias o MGB-PLU teve os melhores resultados.

Por fim, a Figura 7. 21 sumariza os resultados da calibração em termos do terceiro coeficiente de avaliação, o erro porcentual de volume. Erros positivos indicam sub-bacias onde o modelo superestimou o balanço hídrico, e vice-versa.

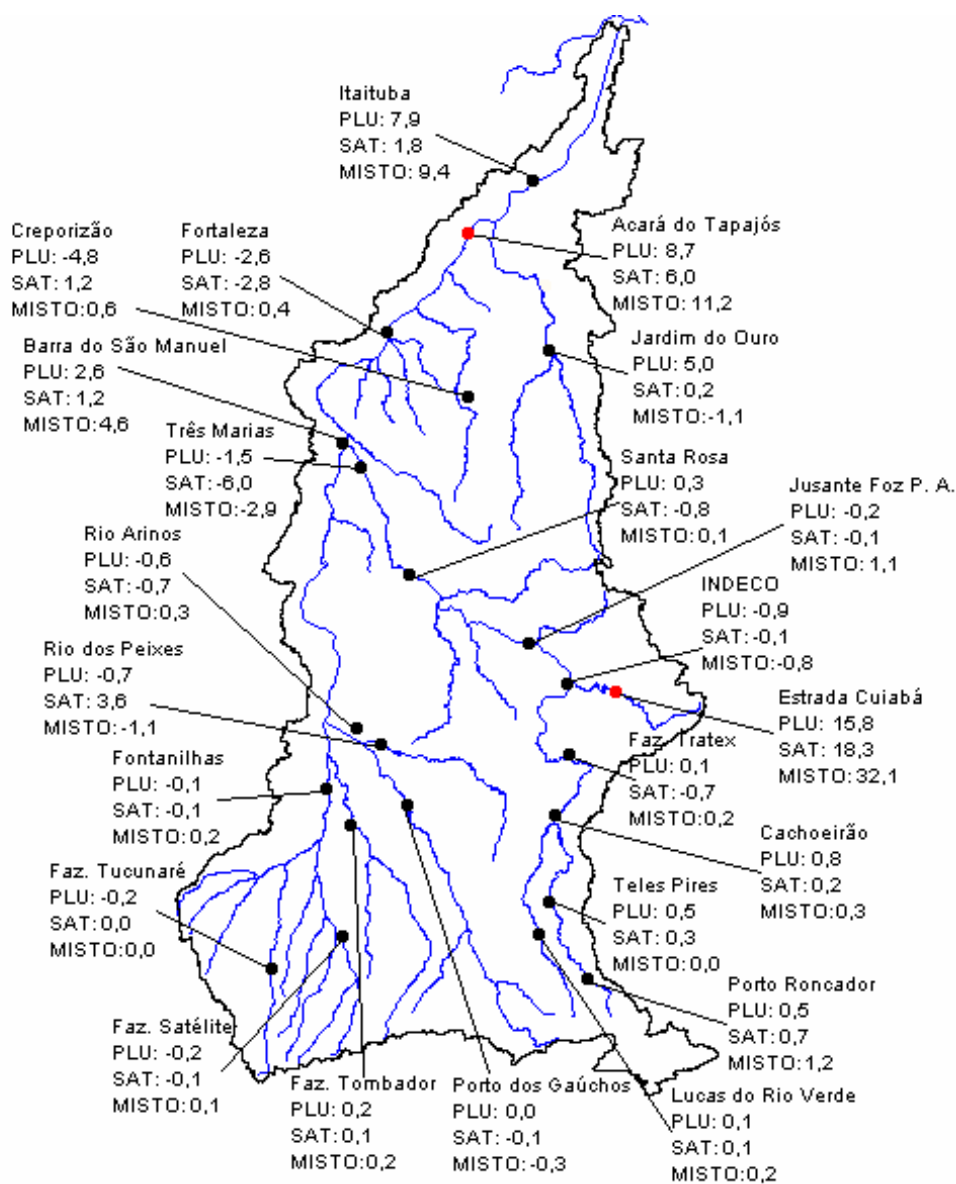


Figura 7. 21. Resultados da calibração dos três modelos considerando o erro porcentual de volume. Em vermelho as bacias onde houve erros significativos nos três modelos.

Pela Figura 7. 21, pode-se observar que o erro de volume se manteve em valores razoavelmente baixos em quase todas as sub-bacias. No entanto, esse ajuste foi obtido às custas de uma distorção nos parâmetros, como será visto na seção 7.7.

Em dois postos em especial, os três modelos superestimaram significativamente o balanço hídrico. O maior erro foi verificado no posto Estrada Cuiabá-Santarém (17360000), no rio Peixoto de Azevedo. O ajuste do MGB-PLU e MGB-MISTO é mostrado na Figura 7. 22.

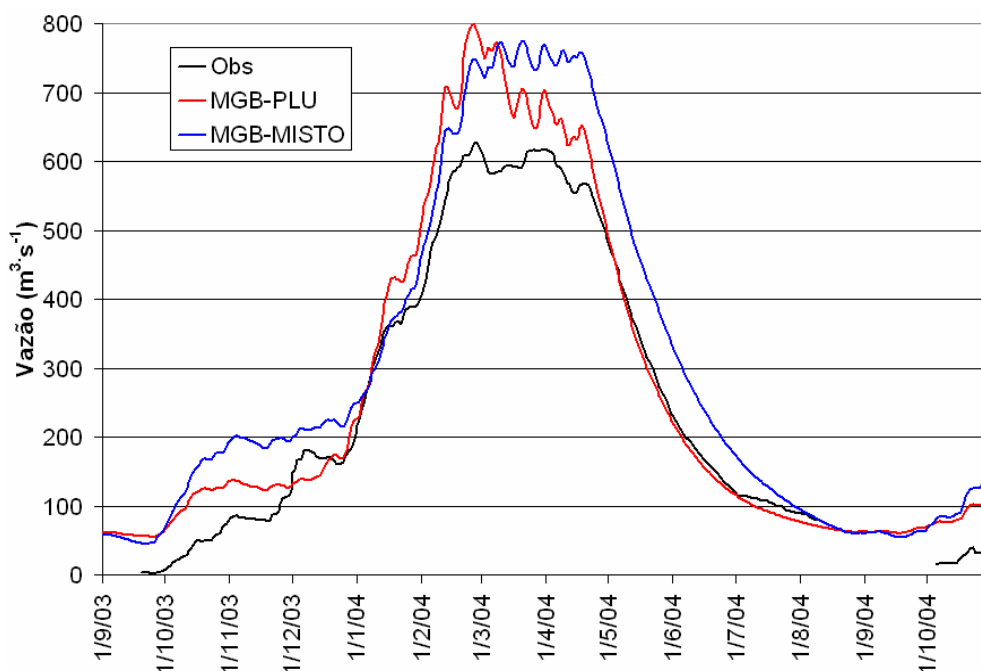


Figura 7. 22. Ajuste dos modelos MGB-PLU e MGB-MISTO no posto Estrada Cuiabá-Santarém (17360000), área de 11.200 km²

Em primeiro lugar, o ajuste é prejudicado pela curta extensão da série de vazões observadas, que contempla apenas um ano hidrológico. Além disso, é bastante provável que o posto tenha problemas de medição, dado que as vazões de estiagem chegam próximas de zero. Embora a bacia seja marcada por solos litólicos rasos, a área é relativamente grande para vazões tão baixas. É possível que a degradação ambiental causada pelo garimpo neste rio, explicitada na Foto 7. 1, levou ao assoreamento da régua de medição e conseqüentemente a problemas na parte inferior da curva-chave.

Outro posto com erros altos de volume é Acará do Tapajós (17650002), que, aparentemente, também apresenta problemas de medição, dado que as vazões de pico decrescem significativamente do posto de montante até este posto, conforme já mostrado na Figura 7. 18.

A Tabela 7. 6 apresenta um resumo de todos os coeficientes de avaliação obtidos para os três modelos, inclusive nas sub-bacias onde apenas o MGB-PLU foi calibrado.

Tabela 7. 6. Resumo dos coeficientes de avaliação das calibrações na bacia do Tapajós

Posto	Plu			Sat			Misto		
	R2	R2 _{log}	ΔV	R2	R2 _{log}	ΔV	R2	R2 _{log}	ΔV
Fazenda Tucunaré	0,78	0,78	-0,2	0,82	0,82	0,0	0,68	0,68	0,0
Utiariti	0,69	0,72	1,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fazenda Satélite	0,74	0,75	-0,2	0,75	0,77	-0,1	0,76	0,77	0,1
Fontanilhas	0,86	0,86	-0,1	0,86	0,86	-0,1	0,83	0,84	0,2
Fazenda Tombador	0,84	0,84	0,2	0,86	0,85	0,1	0,81	0,80	0,2
Porto dos Gaúchos	0,88	0,90	0,0	0,84	0,85	-0,1	0,79	0,79	-0,3
Rio dos Peixes	0,92	0,91	-0,7	0,90	0,90	3,6	0,93	0,92	-1,1
Rio Arinos	0,92	0,93	-0,6	0,91	0,90	-0,7	0,90	0,87	0,3
Foz do Juruena	0,83	0,81	16,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lucas do Rio Verde	0,86	0,87	0,1	0,86	0,88	0,1	0,84	0,85	0,2
Porto Trombador	0,85	0,85	0,5	0,76	0,75	0,7	0,81	0,79	1,2
Teles Pires	0,85	0,90	0,5	0,81	0,80	0,3	0,80	0,84	0,0
Cachoeirao	0,84	0,90	0,8	0,84	0,82	0,2	0,87	0,88	0,3
Fazenda Tratex	0,93	0,92	0,1	0,84	0,81	-0,7	0,88	0,86	0,2
INDECO	0,94	0,94	-0,9	0,91	0,89	-0,1	0,89	0,90	-0,8
Estrada Cuiabá-Santarém	0,90	0,65	15,8	0,83	0,63	18,3	0,79	0,58	32,1
Cachimbo	0,80	0,76	2,0	0,75	0,70	0,8	0,77	0,82	3,0
Base do Cachimbo	0,60	0,72	-3,7	0,58	0,69	-4,7	0,65	0,76	-0,1
Jusante Foz P.A.	0,92	0,90	-0,2	0,91	0,89	-0,1	0,90	0,90	1,1
Santa Rosa	0,95	0,93	0,3	0,91	0,87	-0,8	0,93	0,90	0,1
Três Marias	0,96	0,95	-1,5	0,88	0,87	-6,0	0,93	0,92	-2,9
Barra do São Manuel	0,95	0,91	2,6	0,91	0,85	1,2	0,92	0,87	4,6
Missão Cururu	0,82	0,83	0,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fortaleza	0,96	0,94	-2,6	0,92	0,91	-2,8	0,93	0,91	0,4
Creporizão	0,79	0,86	-4,8	0,90	0,89	1,2	0,87	0,63	0,6
Jatobá	0,80	0,86	16,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Acará do Tapajós	0,86	0,92	8,7	0,92	0,90	6,0	0,84	0,86	11,2
Travessão/Garimpo	0,90	0,92	3,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Novo Progresso	0,80	0,62	3,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Jardim do Ouro	0,92	0,70	5,0	0,81	0,55	0,2	0,87	0,62	-1,1
Jamanxim	0,84	0,57	17,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Itaituba	0,90	0,87	6,4	0,92	0,85	1,8	0,85	0,81	9,4
Fazenda Goiano	0,73	0,40	1,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Na Tabela 7. 6, campos preenchidos com ND representam postos onde a série não apresentava dados de vazão no período de disponibilidade de estimativas do TRMM. Nesses, os coeficientes de avaliação do modelo MGB-PLU referem-se ao período anterior a 1998 em que havia dados de vazão, discriminado na Tabela 7. 3.

7.7. Análise de distorções nos parâmetros

Em todos os modelos calibrados, independente do conjunto de dados pluviométricos considerados, os valores ótimos das funções-objetivo ou coeficientes de avaliação foram obtidos para valores bastante distorcidos dos parâmetros. As maiores distorções são descritas a seguir

Parâmetro de capacidade de armazenamento: o parâmetro W_m , que representa a capacidade de armazenamento do bloco de tipo e uso do solo, atingiu valores muito altos, muito acima dos maiores valores já encontrados por outros autores que fizeram uso do modelo MGB-IPH. Tipicamente, esse parâmetro assume valores que não ultrapassam 2.000 mm, no caso de solos profundos (Silva, 2005 e Collischonn, 2001). No Tapajós, os valores chegaram a até 20.000 mm. Mesmo no caso de latossolos e as areias, solos que geralmente têm boa profundidade, porosidade efetiva alta e que representem boa parte da pedologia da bacia, esses valores são bastante improváveis. Provavelmente, esse parâmetro esteja artificialmente elevado de forma a aumentar o tempo de retenção da água no solo e assim compensar subestimativas no cálculo da evapotranspiração potencial, decorrentes do pequeno número de postos climatológicos e da incerteza nos dados desses. De fato, quando mantido em valores da ordem de 1.000 mm, o erro de volume das vazões aumentava para até 50% em alguns casos.

Parâmetros de retardo dos escoamentos subterrâneo e sub-superficial: os parâmetros K_{sub} e K_{int} assumiram valores bastante baixos em quase todas as sub-bacias calibradas, nos três distintos modelos. O parâmetro K_{sub} , que varia tipicamente de 0,5 a 2 mm/dia^{-1} em aplicações anteriores, oscilou entre 0,01 e 0,2 nas calibrações realizadas. Já K_{int} , cujo valor típico situava-se entre 4 e 70 mm/dia^{-1} , chegou a valores em torno de 0,1. Em algumas sub-bacias, o valor ótimo das funções-objetivo foi obtido para valores de K_{int} inferiores aos de K_{bas} em um mesmo bloco, o que é incoerente, dado que se supõe intuitivamente que o escoamento sub-superficial é mais rápido do que o subterrâneo. Novamente, os baixos valores desses parâmetros parecem estar ligados à subestimativa da ETP, pois a drenagem se reduz muito, mantendo a umidade no solo disponível para evaporação e transpiração vegetal.

Multiplicador dos tempos de retardo do escoamento superficial: o parâmetro CS , associado às sub-bacias, assumiu valores muito mais altos do que em aplicações anteriores. Novamente, isso foi verificado tanto no MGB-PLU quanto em MGB-SAT e MGB-MISTO. Esse parâmetro adimensional multiplica o tempo de concentração característico da célula, e os valores obtidos giravam entre 10 e 30. No Tapajós, os pontos de ótimo foram obtidos para valores de CS

variando de 150 a 300. Eventualmente, isso também pode estar relacionado às limitações no cálculo da ETP, porém é sabido que a equação de Kirpich subestima o tempo de concentração. Possivelmente, no caso de bacias muito florestadas, como a do Tapajós, essa subestimativa do tempo de concentração característico seja ainda maior. Em outras palavras, pode ser que a floresta atue como um agente de retardo do escoamento superficial, de forma mais intensa do que se imaginava até agora.

8. Conclusões e recomendações

8.1. Conclusões

Primeiro objetivo: verificar se os dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM são consistentes e representam corretamente a precipitação em bacias hidrográficas brasileiras

Neste trabalho, comparou-se o campo de precipitações e a precipitação média obtida das estimativas de precipitação do satélite TRMM com o campo de precipitações e a precipitação média obtida a partir de uma rede pluviométrica bastante densa, ao menos para padrões brasileiros.

As estimativas de precipitação fornecidas pelo satélite TRMM são consistentes. Elas conseguem reproduzir com bastante fidelidade o regime de chuvas de bacias hidrográficas brasileiras. As variações sazonais da chuva são bem representadas. Em alguns casos, as estimativas sub- ou superestimam a precipitação de forma pontual, mas, quando ponderadas sobre a bacia, apresentam resultados muito similares àqueles obtidos por interpolação de pluviômetros.

Nas duas bacias analisadas, o satélite superestimou sistematicamente as precipitações médias nas estações secas. A superestimativa, no entanto, não foi muito acentuada. Já nos meses úmidos, o comportamento foi mais aleatório, com uma leve tendência do TRMM em subestimar as precipitações médias sobre a bacia.

Há uma defasagem na estimativa da precipitação por satélite que ainda não pôde ser completamente explicada. No entanto, esta não comprometeu seriamente as análises, e pode estar relacionada a erros na assimilação dos dados dos pluviômetros.

Uma vantagem adicional das estimativas de precipitação por satélite é o número insignificante de falhas nas séries temporais. Nas séries obtidas para este trabalho, os intervalos de tempo com falhas representavam apenas cerca de 0,1% da extensão total. Ressalta-se que as falhas ocorrem em grandes áreas simultaneamente, porém apenas por curtos períodos (1 a 3 intervalos de tempo), diferentemente das séries de pluviômetros, em que as falhas ocorrem às vezes por longos períodos, porém dificilmente toda a rede falha simultaneamente.

Embora sejam uma fonte de dados alternativa, barata e aparentemente confiável, não se pode afirmar ainda que as estimativas de precipitação por satélite podem substituir os dados de

pluviômetros ou pluviógrafos na simulação chuva-vazão. Para isso seriam necessários testes mais aprofundados e um espaço amostral maior, com aplicações em mais bacias. No entanto, este trabalho demonstrou que esse tipo de dado é consistente, conseguindo reproduzir corretamente a oscilação temporal e espacial das precipitações nas bacias analisadas. É razoável supor que a estimativa de satélite pode: (i) complementar as informações da rede pluviométrica quando existem falhas; (ii) suprir com dados a cobertura de áreas deficientes em termos espaciais e temporais; (iii) melhorar a estimativa da variabilidade espacial.

Apesar da grande diversidade de estimativas de precipitação por satélite existentes, disponíveis em variadas resoluções temporais e espaciais, seu uso na simulação hidrológica é ainda muito pouco difundido. Diferentes combinações de tipos de satélite, técnicas de estimativa e modelos hidrológicos podem ser testadas.

Uma das possibilidades mais interessantes que este trabalho trouxe à tona foi a possibilidade de fazer uma análise de consistência de dados pluviométricos sobre uma bacia. Os mapas de erro de volume e coeficiente de correlação espacializados sobre a bacia, apresentados nas seções 8.2 e 9.5, permitem delimitar tendências regionais de valores de coeficiente de correlação e diferença relativa, de forma que pluviômetros que destoem dessa tendência eventualmente tenham deficiências na medição.

Segundo objetivo: verificar se as estimativas de precipitação deste satélite podem ser usados como dado de entrada de um modelo hidrológico distribuído aplicado a bacias brasileiras

Nas duas bacias analisadas, os resultados do modelo MGB-SAT foram bastante bons. Na maioria dos casos, teve desempenho inferior ao modelo MGB-PLU, o que mostra que a medição convencional de precipitação ainda é o meio mais confiável de quantificá-la. Na bacia do São Francisco até Três Marias, esse resultado era esperado, dado que a cobertura de pluviômetros é relativamente alta. Já na bacia do Tapajós, o bom resultado do MGB-PLU é de certa forma surpreendente, dado o baixo número de postos pluviométricos. Talvez nessa bacia a variabilidade espacial da chuva não seja tão alta e o número de pluviômetros é suficiente para representar a precipitação em termos de bacia hidrográfica.

De qualquer forma, demonstrou-se que, em cenários de escassez absoluta de dados, as estimativas de satélite podem ser uma fonte de dados alternativa e barata para a simulação hidrológica chuva-vazão.

Em sub-bacias com grande capacidade de regularização natural, o modelo MGB-SAT teve um desempenho superior ao MGB-PLU. Possivelmente, isso se deve à maior capacidade de infiltração do solo, de forma que os hidrogramas são menos sensíveis a erros nos picos de precipitação e mais sensíveis a uma representação correta da distribuição espacial da chuva.

Como já salientado ao longo deste trabalho, está previsto para 2010 o lançamento de um conjunto de satélites meteorológicos de órbita baixa similares ao TRMM, com o objetivo de resolver o problema da baixa amostragem temporal. Se for levado em conta que a tendência futura é de aumento da qualidade das estimativas, por consequência do aumento da cobertura e da própria evolução dos sensores, pode-se esperar que a performance de modelos hidrológicos com chuva estimada por satélite se iguale à performance de modelos convencionais simulados com chuva medida por pluviômetros, ou mesmo a supere.

A estimativa de precipitação 3B42 do TRMM possui alta resolução temporal e espacial, porém é obtida através de um algoritmo que não é trivial, combinando dados de diferentes satélites. Isto faz com que o tempo de espera para disponibilização dos dados ainda seja relativamente alto (quinze dias, na melhor das hipóteses), dificultando aplicações operacionais como simulação em tempo real e previsão de vazões, por exemplo.

Terceiro objetivo: verificar se as estimativas de precipitação do TRMM podem aperfeiçoar a representação da distribuição espacial das chuvas, de forma a melhorar os resultados do modelo hidrológico utilizado

A metodologia de interpolação de resíduos, da forma que foi utilizada neste trabalho, em geral não traz benefícios significativos na busca de uma melhor representação da distribuição espacial das precipitações. Em bacias com boa densidade de pluviômetros, como a bacia do São Francisco até a UHE Três Marias, não existe uma melhora significativa nos resultados do modelo chuva-vazão, pois existe praticamente um pluviômetro a cada *pixel* da estimativa de precipitação por satélite, de forma que resta pouco espaço para correções da distribuição da chuva por meio das imagens. Em bacias com poucas estações pluviométricas por quilômetro quadrado, como a bacia do Tapajós, a metodologia introduz um erro de volume pela necessidade de se corrigirem precipitações negativas para chuva nula. Isso não significa, entretanto, que a idéia de se interpolarem dados de precipitação com base em estimativas de satélite não seja válida, apenas que há espaço para desenvolvimento de metodologias que levem em conta tanto dados de solo como provenientes de sensoriamento remoto.

Demais conclusões

Constatou-se uma série de problemas com as séries de chuva e vazão obtidas para a bacia do rio Tapajós. Há muitas séries de vazão demasiadamente curtas, com extensão de apenas um ou dois anos, com muitas falhas. Não há continuidade nos dados, ou seja, o período com dados de um posto de montante difere grandemente do período do posto de jusante. Por fim, muitos postos parecem ter coordenadas com problemas. O caso mais grave é do posto Gleba Agrosan (17097000), que, segundo o banco de dados da ANA, encontra-se no rio do Sangue, porém lançando as coordenadas sobre o mapa acaba localizado num ponto próximo ao rio Juruena, conforme Figura 8. 1. A coordenada aproximada dessa Gleba pôde ser obtida a partir de mapas do RADAMBRASIL, de forma que se pôde estimar aproximadamente o erro na localização, avaliado em cerca de 150 km. Esse posto acabou por ser excluído do estudo, porque a incerteza em sua localização e a curta duração de sua série acabariam por prejudicar a análise.

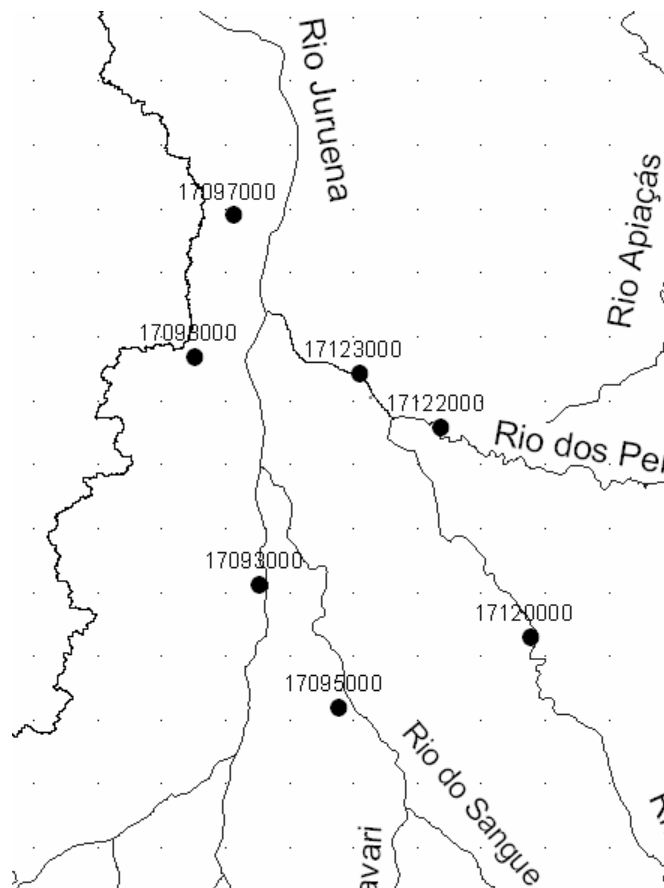


Figura 8. 1. Erro nas coordenadas do posto Gleba Agrosan (17097000), situado no rio do Sangue.

Outros postos fluviométricos também tinham problemas em sua localização, tendo que se recorrer muitas vezes à identificação por composição de imagens de satélites ou em mapas para sua

correção. Da mesma forma, possivelmente muitos postos pluviométricos também possuíam erros em sua localização, o que tem um efeito muito negativo sobre os resultados do modelo hidrológico. Nesse caso, torna-se muito difícil recorrer a recursos como mapas ou imagens, de forma que não foram feitas correções.

Pode-se supor que o desenvolvimento de modelos hidrológicos em bacias amazônicas será incrementado em um futuro próximo. A gestão de recursos hídricos ainda parece não ser um tema relevante em toda Amazônia, porque a disponibilidade hídrica aparentemente é gigantesca e os usuários são em número relativamente pequeno. No entanto, a seca ocorrida no ano de 2005 pode aumentar o interesse em ferramentas de análise quantitativa como a desenvolvida aqui, independente do dado de entrada usado. Da mesma forma, a identificação de conseqüências de mudanças climáticas globais, mudanças climáticas regionais decorrentes do deflorestamento e mudanças de uso do solo sobre o regime hidrológico passam necessariamente pela aplicação de modelos hidrológicos. Deve-se alertar, no entanto, que o modelo desenvolvido para a bacia do Tapajós ainda apresenta inconsistências, não conseguindo representar inteiramente a física do processo de transformação chuva-vazão, de forma que seria temerário utilizá-lo para quantificar efeitos de mudanças climáticas e/ou uso do solo. A base de dados deve necessariamente ser refinada para que resultados de análises desse tipo sejam confiáveis.

As simulações realizadas na bacia do rio Tapajós, embora tenham conduzido a resultados bastante bons, foram obtidas para valores relativamente distorcidos dos parâmetros. Em especial o parâmetro W_m , que expressa a capacidade de armazenamento do solo, teve valores muito altos, da ordem de 20.000 mm, que parecem extrapolar a realidade de solos normais. Asner et al. (2004) assinalam que, na área do projeto Seca Floresta, no baixo Tapajós, os latossolos existentes são extremamente profundos, com o lençol freático podendo atingir profundidades superiores a 100m. No entanto, essa é uma área isolada e tais características não podem ser generalizadas.

A razão para a distorção desse parâmetro provavelmente está ligada à falta de dados climatológicos na bacia. Foram encontrados dados de apenas duas estações meteorológicas e em ambas as medidas de radiação líquida na superfície parecem ser muito baixas. Uma alternativa para estimar a radiação líquida seria a partir de dados de insolação diária, porém esses não se encontravam disponíveis em nenhum dos postos.

Uma outra conseqüência do alto valor dos parâmetros de armazenamento é que o mesmo demora vários anos para ajustar as condições iniciais (grande memória com os parâmetros

ajustados), ou seja, é necessário um período muito longo de “aquecimento” do modelo antes de avaliar a adequação do mesmo a dados de vazão observados. É possível até mesmo que ao longo do período de avaliação, entre 1998 e 2004, as condições iniciais ainda não estivessem completamente ajustadas (o solo não tivesse armazenado até 100% da capacidade). De fato, um solo com 20.000mm de capacidade de armazenamento, em uma região onde chove cerca de 2.000 por ano, levaria no mínimo 10 anos para atingir sua capacidade, isso na condição irreal de que nenhuma precipitação escoe superficialmente. Se isso for verdadeiro, possivelmente o modelo vai ter resultados ruins se for verificado em um período posterior, quando então as condições iniciais estiverem finalmente corrigidas.

Outra explicação para os altos valores dos parâmetros de armazenamento é que haja singularidades regionais que não estão corretamente representadas no modelo, dado que o mesmo nunca havia sido usado em bacias amazônicas, com predominância de cobertura de floresta. Eventualmente, a floresta desempenha um papel mais importante do que se supunha na interceptação da precipitação e na retenção e evapotranspiração da água. Da mesma forma, a grande quantidade de matéria orgânica e serapilheira no solo pode representar uma capacidade de interceptação e de armazenamento extra, explicando em parte os altos valores encontrados.

De qualquer forma, as distorções nos parâmetros ocorreram independentemente do tipo de dado de precipitação usado no ajuste. Não se tratava aqui de testar a capacidade do modelo de representar a transformação chuva-vazão em determinada bacia, mas sim verificar a adequação do uso de um dado alternativo (a estimativa de precipitação por satélite) no contexto de modelos hidrológicos. Esse objetivo foi, ao que parece, satisfeito.

8.2. Recomendações

Os resultados deste trabalho mostram que os dados de precipitação estimados a partir de satélites como o TRMM podem ser uma alternativa eficiente e barata quando comparados a instrumentos no solo, como estações pluviométricas com telemetria. Porém, bacias bem instrumentadas como a do São Francisco até Três Marias são exceção no cenário brasileiro. Assim, são necessários testes mais aprofundados em bacias com poucos dados de solo, de forma validar as metodologias aqui propostas. Por isso, recomenda-se o uso de estimativas do TRMM como dado de entrada para simulação hidrológica em outras bacias hidrográficas.

Embora a metodologia para interpolação de dados de pluviômetros a partir da estimativa do satélite que foi proposta aqui não tenha mostrado resultados satisfatórios, o paradigma ainda é válido. Para solucionar o problema da precipitação negativa, apontado como efeito colateral da metodologia, uma idéia seria trabalhar com razões ao invés de diferenças, ou seja, dividir a precipitação pontual pela estimativa do satélite, ao invés de subtraí-la, e interpolar as razões. Restaria definir neste caso alguns detalhes para evitar resultados espúrios decorrentes da divisão por zeros, divisão por falhas, etc.

Sugere-se implementar métodos geoestatísticos em substituição ao método do inverso do quadrado da distância para interpolação de dados de precipitação, independente da fonte de dados. Vários autores afirmam que o método de *kriging* é bastante adequado para esse fim, por conseguir representar melhor o comportamento anisotrópico da distribuição espacial da chuva quando da existência de direções preferenciais, barreiras topográficas, etc.

Uma análise que pode ser interessante é a aplicação do modelo alimentado com chuva de satélite em bacias não-tropicais, onde não haja predominância de chuvas convectivas. Os dados do TRMM estão disponíveis na faixa de 50°S a 50°N, porém com grande incerteza a partir de 30° de latitude devido à intensificação de processos frontais nessas regiões. Conforme reiterado anteriormente, o algoritmo de estimativa é mais adequado para processos convectivos de geração de precipitação. Sugere-se a aplicação na bacia do rio Uruguai, entre os estados de RS e SC. A expectativa é que, nessas regiões, o modelo alimentado com dados de satélite necessite maior correção baseada na rede pluviométrica.

Da mesma forma, pode-se pensar na aplicação de um modelo em uma bacia da Serra do Mar, para verificação do desempenho das estimativas de satélite em regiões com orogênese. É aceito na literatura o fato de que as técnicas têm dificuldade em reconhecer as chamadas “chuvas quentes”, porém alguns resultados obtidos aqui parecem indicar que isso não é necessariamente verdadeiro.

O modelo alimentado com precipitação estimada por satélite poderia ainda ser utilizado em uma bacia transfronteiriça brasileira na qual haja carência de dados no país vizinho, verificando a sua eficiência nas vazões estimadas e nas características dos parâmetros obtidos.

A estimativa do satélite TRMM poderia complementar a base de dados em bacias transfronteiriças onde há carência de dados no país vizinho, notadamente a bacia do Alto Paraguai, que tem sido foco de vários projetos e na qual o volume de informações nas porções boliviana e paraguaia é quase nulo.

Dado que o modelo *PLU* obteve melhores resultados, uma análise bastante interessante que pode ser feita é determinar qual é a rede pluviométrica equivalente à estimativa do satélite em termos de desempenho do modelo hidrológico. Isso seria feito reduzindo progressivamente o número de pluviômetros em locais específicos da bacia do São Francisco até Três Marias, por exemplo. Poderia ser feita uma análise da redução de custo correspondente, fornecendo subsídios ao operador da rede.

Sugere-se uma atualização do banco de dados *Hidroweb* da ANA para contemplar alguns erros constatados aqui. As correções efetuadas em características geográficas dos postos pluviométricos da bacia do Tapajós, como o cálculo das áreas de drenagem a partir do MNT de 90m e as coordenadas corrigidas com base em mapas e imagens de satélite, podem ser disponibilizadas para a Agência. Da mesma forma, sugere-se estender essas correções para outras sub-bacias amazônicas que possivelmente enfrentam o mesmo problema.

Uma sugestão relativamente ambiciosa é avançar na simulação chuva-vazão com dados de sensoriamento remoto, incluindo dados de evapotranspiração estimados por satélite em substituição à estimativa indireta por Penman-Monteith, usada neste trabalho. Estimativas espaciais de umidade do solo poderiam ser usadas como dado de entrada em outros modelos hidrológicos. No caso do modelo MGB-IPH, esse não seria o caso, pois a umidade não é informada ao modelo, e sim calculada internamente. Mesmo assim, a estimativa de umidade poderia ser usada para atualizar as variáveis de estado e com isso melhorar os resultados do modelo.

Quanto à integração de dados hidrológicos estimados por satélite, cabe salientar que o projeto HYBAM já mede nível d'água em rios amazônicos com precisão de centímetros, está dando seus primeiros passos na estimativa de concentração de material sólido em suspensão e prevê, para o ano de 2015, a estimativa precisa de vazão em rios por satélite. Não é difícil vislumbrar para um futuro não muito distante a possibilidade de simulação hidrológica integrada com simulação de qualidade de água e transporte de sedimentos em que todo conjunto de dados de entrada é obtido por sensoriamento remoto.

É importante ressaltar também que, para este trabalho, os dados de precipitação estimados pelo satélite, disponíveis originalmente com resolução temporal de 3 horas, foram integrados para a resolução de um dia, representando uma redução de informação. Nada impede que simulações sejam realizadas com resolução temporal maior, desde que existam dados compatíveis para comparação dos resultados. Eventualmente, em bacias de grande porte, como as simuladas aqui,

essa aplicação não tenha tanto interesse, dada a lentidão na resposta da bacia. Ao mesmo tempo, para bacias pequenas, da ordem de algumas centenas de quilômetros quadrados, os dados de satélite não são uma informação precisa o suficiente, dada sua resolução espacial relativamente baixa (um pixel do TRMM corresponde a mais de 600 km²), inviabilizando seu uso em áreas de pesquisa como drenagem urbana, por exemplo. No espaço intermediário, que contempla bacias de alguns milhares de quilômetros quadrados, pode ser bastante interessante realizar simulações com dados do TRMM de 3 em 3 horas. A Tabela 8. 1 sintetiza o potencial de uso de dados da estimativa 3B42 em simulações hidrológicas com resolução de 3 horas.

Tabela 8. 1. Potencial de uso de dados do TRMM com alta resolução temporal de acordo com o tamanho da bacia.

Tamanho da bacia	Interesse de uso	Limitação
Pequena (menos de 300 km ²)	Baixo	Resolução espacial do TRMM
Média (entre 2000 e 10.000 km ²)	Alto	
Grande (mais de 10.000 km ²)	Reduzido	Resposta lenta (tempo de concentração muito superior a 3h)

Da mesma forma, podem ser usados dados do TRMM com resolução temporal menor, como por exemplo o produto 3B31, com discretização mensal, os quais são bastante precisos. Esse tipo de dado não seria passível de ser usado no modelo chuva vazão aplicado neste trabalho, o qual é adequado para discretizações temporais maiores, porém modelos de gerenciamento como o IPH-MEN (Tucci, 1998), o qual usa dados mensais para extensão de séries, poderiam fornecer resultados interessantes e se constituir em ferramentas úteis aplicados a bacias com poucos dados.

Sem dúvida, a aplicabilidade de dados do TRMM não se esgota na simulação hidrológica. Uma das perspectivas mais interessantes do projeto é a possibilidade de estimar a precipitação sobre os oceanos, de forma até mais precisa do que sobre a terra, o que possivelmente representará um grande avanço em estudos de balanço hídrico global. Estudos de recarga de aquíferos e disponibilidade hídrica em geral em regiões sem dados são outras aplicações imagináveis.

Cabe recomendar estudos mais aprofundados para a correta representação dos fenômenos físicos em bacias amazônicas. Na aplicação do Tapajós, embora os resultados tenham sido satisfatórios, parecem haver muitas distorções nos parâmetros, e não se pode afirmar que o modelo dê bons resultados se eventualmente for verificado em um período posterior. Por isso, recomenda-se verificar o modelo futuramente, à medida que as séries de precipitação, de estimativas de precipitação do TRMM e de vazão na bacia se tornem mais longas. Na eventualidade de dados

climáticos mais confiáveis serem disponibilizados, convém recalibrar o modelo de forma a contemplar a melhor estimativa da evapotranspiração potencial.

Outro procedimento que poderia ser tentado para contornar o problema da subestimativa da evapotranspiração potencial é realizar um balanço hídrico global em termos anuais para estimar a evaporação real na bacia. Com isso, a evaporação no modelo poderia ser corrigida linearmente até atingir valores satisfatórios.

Recomenda-se, ainda, realizar campanhas de campo para verificar em que medida a classificação de uso do solo é confiável, dado que, por englobar uma fronteira agrícola, trata-se de bacia com intensa modificação antrópica. Outro objetivo de uma missão de campo é buscar as coordenadas precisas de postos fluviométricos e, principalmente, pluviométricos.

Ainda com relação ao modelo MGB, sugere-se a substituição do modelo de Muskingum-Cunge por um modelo de propagação de vazões alternativo para casos em que há baixas declividades de linha d'água e efeito de remanso, notadamente um modelo hidrodinâmico. Evidentemente, esse tipo de modelo requer uma riqueza maior de dados batimétricos, os quais poderiam eventualmente ser obtidos junto ao HYBAM. A acoplagem de um modelo hidrodinâmico na porção inferior do Tapajós permitiria uma representação muito melhor dos hidrogramas afluentes ao rio Amazonas, pois esse produz efeito de remanso pelo menos até o posto de Itaituba, cerca de 200km a montante da foz.

Por fim, cabe recomendar que os estudos relacionando uso do solo, clima e recursos hídricos na Amazônia sejam fortemente ampliados. Este trabalho mostrou alguns aspectos das modificações antrópicas que a região vem sofrendo e de seus efeitos, porém aqui a abordagem foi superficial e apenas como pano de fundo para as análises principais. É urgente que poder público e meio acadêmico se mobilizem no sentido de prover respostas para o desafio de compatibilizar atividade humana e conservação ambiental.

9. Bibliografia

- ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004): Modelo de simulação hidrológica na bacia do Alto Paraguai. Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai, IPH-UFRGS.
- Anderson, M.L.; Kavvas, M.L.; Mierzwa, M.D. (2001): Probabilistic/ensemble forecasting: a case study using hydrologic response distributions associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Journal of Hydrology*. V.249, p.134-147.
- Araújo, A. N.; Guetter, A. K. (2005): Avaliação hidrológica da técnica *CMORPH* de estimativa de chuva por satélite sobre a bacia do Iguçu. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de novembro, João Pessoa – PB.
- Asner, G. P.; Nepstad, D.; Cardinot, G.; Ray, D. (2004): Drought stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with spaceborne imagin spectroscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 20 de abril.
- Barrera, D. F. (2005): Precipitation estimation with the *hydro-estimator* technique: its validation against rain gauge observations. VII Congresso da IAHS, Foz do Iguçu, 3-9 de abril de 2005.
- Bastiaanssen, W.G.M.; Mementi, M., Feddes, R. A.; Holtslag, A.A.M. (1998a): A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – 1. Formulation. *Journal of Hidrology* 212-213 pp. 198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Ma, Y.; Moreno, J. F.; Roerink, G. J.; Van der Wal, T. (1998b): A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) – 2. Validation. *Journal of Hidrology* 212-213 pp. 213-229.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M (1993): Precipitação. In. Tucci, C.E.M.: *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Editora da Universidade.
- Biftu, G.F.; Gan, T.Y. (2001): Semi-distributed, physically based, hydrologic modeling of the Paddle River Basin, Alberta, using remotely sensed data. *Journal of Hydrology*. V.244, p.137-156.
- Bremicker, M. (1998): Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Dissertação – Faculdade de Ciências da Terra, Universidade Albert-Ludwig, Freiburg.

- Burges, S.J. (1998): Streamflow Prediction: Capabilities, Opportunities, and Challenges. In: National Research Council. Hydrologic Sciences – Taking Stock and Looking Ahead. Proceedings of the 1997 Abel Wolman Distinguished Lecture and Symposium on the Hydrologic Sciences. Washington, DC (EUA): National Academy of Science, 138p.
- Burrough, P. A. (1986): Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford, 194p.
- Bwanali, K. Y. (2001): Remote sensing CCD rainfall estimation in Zimbabwe. II WaterNet Symposium: Integrated Water Resources Management: Theory, Practice, Cases; Cidade do Cabo, 30-31 de outubro de 2001.
- Calvetti, L.; Beneti, C.; Pereira F°, A. J. (2003): Características das estimativas de precipitação por radar satélite e pluviômetros no Paraná: uma comparação entre chuva de verão e chuva provocada por frente fria. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23-27 de novembro, Curitiba (PR).
- Carvalho, F. P.; Sousa, R. L.; Carvalho, B. S. (2004): Análise da situação atual da rede hidrometeorológica da bacia hidrográfica do rio Paraguai. III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 20-22 de maio, Goiânia (GO).
- Cheng, M.; Brown, R.; Collier, C. G. (1993): Delineation of Precipitation Areas Using Meteosat Infrared and Visible Data in the Region of the United Kingdom. Journal of Applied Meteorology vol. 32, 884-898.
- Chiu, L. S. & Chang, A. T. C. (2001) Precipitation from TRMM and SSM/I annual means and sampling errors. WCRP/SCOR Workshop on Intercomparison and Validation of Ocean-Atmosphere Flux Fields, 21-24 de maio, Potomac, EUA.
- Collischonn, W. (2001): Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Tese de doutorado, IPH-UFRGS, 194 páginas, anexos.
- Collischonn, W.; Haas, R.; Andreolli, I.; Tucci, C. E. M. (2005): Forecasting River Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model. Journal of Hydrology, v. 205, p. 87-98.
- Conti, G. N. (2002): Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS.

- de Angelis, C. F. (2005) Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrador de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos-PRECIBRA. Projeto de Pesquisa. CPTEC-INPE.
- Entekhabi, D.; Asrar, G.R.; Betts, A.K.; Beven, K.J.; Bras, R.L.; Duffy, C.J.; Dunne, T.; Koster, R.D.; Lettenmaier, D.P.; McLaughlin, D.B.; Shuttleworth, W.J.; Van Genuchten, M.T.; Wei, M.-Y.; Wood, E.F. (1999): An Agenda for Land Surface Hydrology Research and a Call for the Second International Hydrological Decade. Bulletin of the American Meteorological Society. V.80, n.10, outubro.
- ENVI, (2005): Guia em português do programa ENVI, disponível em <http://www.envi.com.br/guia/>
- Fekete, B. M.; Vörösmarty, C. J.; Roads; Wilmott, C. J. (2003): Uncertainties in Precipitation and Their Impacts on Runoff Estimates. Journal of Climate, v. 17, p. 294-304.
- Flaming, G. M. (2004): Measurement of global precipitation. Publicação da Administração Aeroespacial dos EUA (NASA).
- GEWEX (1998) Continental-Scale International Project (GCIP). A Review of Progress and Opportunities. Washington DC, EUA: National Academy of Science, 93p.
- Giacomoni, M. H.; Mendes, C. A. B. (2005): Estimativa do balanço de energia e evapotranspiração por meio de sensoriamento remoto: aplicação do método S-SEBI para o estado do Rio Grande do Sul. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul, 20-23 de março de 2005, Santa Maria-RS.
- Guetter, A. K.; Georgakakos, K. P.; Tsonis, A. A. (1996): Hydrologic applications of satellite data: 2. Flow simulation and soil water estimates. Journal of Geophysical Research, vol. 101, p. 26.527-26.538.
- Guo, J.; Liang, X.; Leung, L. R. (2004): Impacts of different precipitation data sources on water budgets. Journal of Hydrology 298 pp. 311-334.
- Habets, F.; Etchevers, P.; Golaz, C.; Leblois, E.; Ledoux, E.; Martin, E.; Noilhan, J.; Ottlè, C. (1999): Simulation of the water budget and the river flows of the Rhone basin. Journal of Geophysical Research. Vol.104, n.D24, p.31145-31172.
- Hartmann, H.C.; Bales, R.; Sorooshian, S. (1999): Weather, Climate, and Hydrologic Forecasting for the Southwest U.S. Tucson, EUA: The University of Arizona. Working Paper Series: WP2-99, fevereiro. 172p.

Hiroshima, K. (1999): Rainfall observation from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Satellite. *Journal of Visualization*, vol. 2, n° 1, pp. 93-98.

<http://daac.gsfc.nasa.gov/data/> Banco de dados da NASA.

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu/> Banco de imagens de satélite da Universidade de Maryland.

<http://hidroweb.ana.gov.br/> Banco de dados da Agência Nacional de Águas.

<http://seamless.usgs.gov/> Banco de dados do Serviço Geológico dos EUA.

<http://www.brasildasaguas.com.br/> Brasil das Águas.

<http://www.ore.hybam.org/> Contrôles geodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone. Observatoire de Recherche pour l'Environnement.

Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; Stocker, E.; Adler, R. F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T. Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G.; Ferrier, B.; Olson, W. S.; Zipser, E.; Smith, E. A.; Wilhelm, T. T.; North, G. Krishnamurti, T.; Nakamura, K. (2000): The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 39, pp. 1965-1982.

Lakshmi, V. (2004): Use of satellite remote sensing in hydrological predictions in ungauged basins. XX Congresso da ISPRS, 12-23 de julho de 2004, Istambul, Turquia.

Lepsch, I. F. (2002): Formação e conservação dos solos. Editora Oficina de Textos.

Levizzani, V. (1998): Intense rainfall monitoring from geostationary satellites. 9^a Conf. Satellite Meteorology and Oceanography, AMS, 327-330.

Lohmann, D.; Raschke, E; Nijssen, B.; Lettenmaier, D. P. (1998a) Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model. *Hydrological Sciences Journal*. V.43, n.1; p.131-141.

Lohmann, D.; Raschke, E; Nijssen, B.; Lettenmaier, D. P. (1998b) Regional scale hydrology: II. Application of the VIC-2L model to the Weser river, Germany. *Hydrological Sciences Journal*. V. 43, n.1; p.143-158.

Lutgens, F. K.; Tarbuck, E. J. (1989): *The Atmosphere – An Introduction to Meteorology*. Prentice Hall, New Jersey, 491 p.

- Magalhães, P. C. (2005): A transposição das águas do rio São Francisco. In.: Revista Ciência Hoje vol. 37, SBPC, julho.
- Mcguire, M. & Lettenmaier, D. P. (2004): Use of satellite data for streamflow and reservoir storage forecasts in the Snake River Basin, ID. Journal of Water Resources Planning and Management (em revisão).
- Meller, A.; Allasia, D. G.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. (2005): Sensibilidade do regime hidrológico de bacias hidrográficas à variabilidade da precipitação. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de novembro, João Pessoa, PB.
- Mendes, C. A. B. (1990): Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na região estuarina da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de mestrado, 165 páginas, anexos.
- Ministério das Minas e Energia (1983): Projeto RADAMBRASIL. Folhas SD-21 (Cuiabá), SC-21 (Juruena), SB-21 (Tapajós) e SA-21 (Santarém).
- Nicholson, S. (2005): On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. Journal of Arid Environments 63, p. 615-641.
- Nijssen, B.; Lettenmaier, D.P.; Liang; X.; Wetzel, S.W.; Wood, E.F. (1997): Streamflow Simulation for Continental-scale River Basins. Water Resources Research. V.33, n.4, abr, p.711-724.
- ONS – Operador Nacional do Sistema (2005a): Modelo de previsão de vazões com incorporação de informação de precipitação: Bacia Paranaíba. Relatório.
- ONS – Operador Nacional do Sistema (2005b): Modelo de previsão de vazões com incorporação de informação de precipitação: Bacia Itaipu incremental. Relatório.
- Paz, A. R.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. (2005): Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20 a 24 de novembro, João Pessoa – PB.
- Pereira F°, A. J.; Negri, A.; Nakayama, P. T. (2002): An intercomparison of gauge, radar and satellite rainfall in the tropics. I Workshop do IPWG (International Precipitation Working Group), 23-27 de setembro, Madri, Espanha.
- Pretty, G. W. (1995): The Status of Satellite-Based Rainfall Estimation over Land. Remote Sensing of Environment 51, p. 125-137
- Ramage, K.; Jobard, I.; Lebel, T.; Desbois, M. (2003): Satellite estimation of 1-day to 10-day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM,

- METEOSAT and GPCP products. The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 29 de setembro a 3 de outubro, Weimar, Alemanha.
- Rawls, W.J.; Ahuja, L.R.; Brakensiek, D.L.; Shirmohammadi, A. (1993): Infiltration and soil water movement In: Maidment, D. Handbook of hydrology. McGraw-Hill New York.
- Ribeiro Neto, A.;Vieira da Silva, R.; Collischonn, W.; Tucci, C.E.M. (2005): Hydrological modelling in Amazônia: Use of the MGB-IPH model and alternative data base. Proceedings of VII IAHS Scientific Assembly, Foz do Iguaçu, Brasil, 03-09 de abril de 2005.
- Schultz, G. A.; Engman, E. T. (2000): Remote Sensing in Hidrology and Water Management. Springer, 483p.
- Schumacher, C.; Houze Jr., R. A. (2004): Mesoscale Convective Systems over Sub-saharan Africa and the Tropical East Atlantic. 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 3-7 maio, Miami – EUA.
- Shuttleworth, W. J. (1993): Evaporation. In.: Handbook of Hidrology, McGraw-Hill, Londres.
- Silva, B. C.; (2005). Previsão hidroclimática de vazão para a bacia do rio São Francisco. Tese de Doutorado, IPH-UFRGS, 220 páginas, anexos.
- Singh, V.P.; Woolhiser, D.A. (2002): Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. Journal of Hydrologic Engineering. V.7, n.4, jul/ago, p.270-292.
- Smith, J. A. (1993): Precipitation. In.: Maidment, D.: Handbook of Hidrology. McGraw-Hill, Londres.
- Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (2005): As incertezas do projeto de transposição. In.: Revista Ciência Hoje, SBPC, julho.
- Struzik, P. (2003): Accumulated precipitation distribution based on combined satellite information and ground measurements. The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 29 de setembro a 3 de outubro, Weimar, Alemanha.
- Testfatsion, Y.; Dinku, T. (2003): Rainfall estimation from satellite data in Ethiopia: calibration and application. The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, 29 de setembro a 3 de outubro, Weimar, Alemanha.
- Todini, E. (1996): The Arno Rainfall – Runoff Model. Journal of Hydrology, Vol.175, pp. 293-338.
- Troch, P.A.; Paniconi, C.; McLaughlin, D. (2003): Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation. Advances in Water Resources. V.26, p.131-135.

- Tsintikidis, D.; Georgakakos, K. P.; Artan, G. A.; Tsonis, A. A. (1999): A feasibility study on mean areal rainfall estimation and hydrologic response in the Blue Nile region using METEOSAT images. *Journal of Hydrology* 221, pp. 97-116.
- Tsonis, A. A.; Triantafyllou, G. N.; Georgakakos, K. P. (1996): Hydrological applications of satellite data 1. Rainfall estimation. *Journal of Geophysical Research*, vol. 101, p. 26.517-26525.
- Tucci, C.E.M. (1998): *Modelos Hidrológicos*. Editora da Universidade, IPH-UFRGS.
- VEJA (2005): *As 7 pragas da Amazônia*. Edição de 12 de outubro, editora Abril.
- Villa, D.; Irigoyen, M.; Simonet, D.; Zamanillo, E. Evaluación del uso operativo de las estimaciones satelitales de precipitación. III Simposio de Recursos Hidricos del Cono Sur, 9-13 de maio, Mendoza, Argentina.
- Vörösmarty, C. J.; Willmott, C. J.; Choudhury, B. J.; Schloss, A. L.; Stearns, T. K.; Robeson, S. M.; Dorman, T. (1996): Analyzing the discharge regime of a large tropical river trough remote sensing, ground-based climatic data and modeling. *Water Resources Research*, Vol.32, n.10, p.3137-3150.
- Wang, Q.; Takahashi, H. (1998): Regional hydrological effects of grassland degradation in the Loess Plateau of China *Hydrological Processes*. Vol.12, p.2279-2288.
- Wigmosta M.S.; Vail L.W. Lettenmaier D.P. (1994): A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*, 1 30, n° 6, 1665-1679.
- Wilheit, T. T. (1986): Some Comments on Passive Microwave Measurement of Rain. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 67, n° 10.
- Yao, H.; Terakawa, A. (1999): Distributed hydrological model for Fuji river basin. *Journal of Hydrologic Engineering*. V.4, n.2, p.108-116.
- Yapo, P.O.; Gupta, H.V.; Sorooshian, S. (1998): Multi-objective global optimization for hydrologic models. *Journal of Hydrology*, Vol. 204 pp. 83-97.
- Yilmaz, K. K.; Gupta, H.; Hogue, T. S.; Hsu, K.; Wagener, T.; Sorooshian, S. (2005): Evaluating de utility of satellite-based precipitation estimates for runoff prediction in ungauged basins. In.: *Regional Hydrological Impacts of Climatic Change – Impact Assessment and Decision Making*. Anais do VII Congresso da IAHS, Foz do Iguacu, 3-9 de abril.

**ANEXO 1 - O FORMATO DE DADOS
HIERARCHICAL DATA FORMAT
(HDF)**

A extensão .HDF (*Hierarchical Data Format*) é um formato de arquivo de dados criado pelo NCSA (*National Center for Supercomputing Applications*) para auxiliar o usuário no armazenamento e manipulação de dados científicos nos diversos tipos de sistemas operacionais e de arquitetura computacional. O NCSA desenvolveu uma biblioteca de subrotinas e um conjunto de programas utilitários e ferramentas para criação e uso de arquivos HDF.

O formato HDF suporta vários tipos de dados: matrizes de dados científicos, tabelas e texto, bem como diversos tipos de imagens *raster* e suas respectivas paletas de cores.

Há dois tipos distintos de HDF, conhecidos como HDF (versão 4 ou anterior) e o novo HDF5.

Algumas das características do formato HDF são:

- possibilita a alguns programas obter informação sobre o dado a partir do próprio arquivo de dados, ao invés de outra fonte;
- padroniza o formato e as descrições de vários tipos de conjuntos de dados comumente usados, tais como imagens *raster* e dados científicos;
- é um formato independente da plataforma operacional, podendo ser usado em diferentes tipos de computadores, em qualquer sistema operacional que esteja instalado;
- novos tipos de dados podem ser adicionados ao arquivo, tanto pela equipe de desenvolvimento quanto pelos usuários do arquivo.

Os arquivos HDF são também auto-descritivos. Para cada objeto de dados em um arquivo HDF, existem atributos predefinidos que fornecem informações como o tipo e a quantidade de dados, suas dimensões e sua posição dentro do arquivo. A capacidade de auto-descrição dos arquivos HDF oferece importantes vantagens no processamento de dados científicos. Ela torna possível compreender inteiramente a estrutura e conteúdo de um arquivo a partir do próprio arquivo. Um programa que tenha sido implementado para interpretar determinados tipos de atributos pode examinar um arquivo contendo estes atributos e processar os dados correspondentes. A auto-descrição também possibilita que vários tipos de dados possam ser “empacotados” em um arquivo HDF. É possível, por exemplo, acomodar dados simbólicos, numéricos e gráficos em um mesmo arquivo hdf.

**ANEXO 2 –DISPONIBILIDADE DE
DADOS FLUVIOMÉTRICOS NA
BACIA DO TAPAJÓS**

**ANEXO 3 – DISPONIBILIDADE DE
DADOS PLUVIOMÉTRICOS NA
BACIA DO TAPAJÓS**

ANEXO 4 – PARÂMETROS CALIBRADOS PARA O MODELO MGB-PLU NA BACIA DO SÃO FRANCISCO ATÉ TRÊS MARIAS

Nota: nos anexos 4 a 6, os blocos estão abreviados conforme a seguinte convenção: pastage-sp: pastagem em solo profundo; pastage-li: pastagem em solo litólico; cerrado-sp: cerrado em solo profundo; cerrado-li: cerrado em solo litólico; caat-sp: caatinga em solo profundo e caat-li: caatinga em solo litólico

Bacia 1

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	521.00	1.28	0.03	36.20	0.67	0.00	0.05
floresta	3261.00	0.25	1.00	72.39	0.67	0.00	0.05
irrigacao	2979.00	0.39	0.67	60.33	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	825.00	0.39	1.00	72.39	0.67	0.00	0.05
pastage-li	117.00	0.77	0.42	36.20	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	6063.00	0.25	1.00	72.39	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	658.00	0.77	0.93	36.20	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	0.42	0.42	46.17	0.67	0.00	0.05
caat-li	279.90	0.25	0.25	46.17	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	36.20	0.67	0.50	0.50
CS	80.20						
CI	151.80						
CB	4800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 2

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	870.00	0.63	0.02	5.26	0.67	0.00	0.05
floresta	2969.00	0.12	1.07	14.03	0.67	0.00	0.05
irrigacao	1099.00	0.19	0.72	8.77	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	954.00	0.25	1.07	14.03	0.67	0.00	0.05
pastage-li	650.00	0.37	0.57	8.77	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	1360.00	0.25	1.07	14.03	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	1888.00	0.37	0.57	8.77	0.67	0.00	0.05
caat-sp	498.50	0.50	0.36	5.26	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.63	0.21	5.26	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	6.66	0.67	0.50	0.50
CS	51.70						
CI	99.30						
CB	6300.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 3

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	996.00	0.74	0.01	9.18	0.67	0.00	0.05
floresta	2614.00	0.15	0.73	24.47	0.67	0.00	0.05
irrigacao	3557.00	0.22	0.50	15.30	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	773.00	0.29	0.73	24.47	0.67	0.00	0.05
pastage-li	350.00	0.44	0.39	15.30	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	3719.00	0.29	0.73	24.47	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	1957.00	0.44	0.39	15.30	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	0.58	0.25	9.18	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.74	0.15	8.22	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	10.41	0.67	0.50	0.50
CS	53.20						
CI	269.70						
CB	3600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 4

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	171.00	0.74	0.00	5.96	0.67	0.00	0.05
floresta	1614.00	0.15	0.23	12.22	0.67	0.00	0.05
irrigacao	1042.00	0.22	0.15	9.93	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1212.00	0.29	0.16	12.22	0.67	0.00	0.05
pastage-li	585.00	0.44	0.12	9.93	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	3833.00	0.29	0.16	12.22	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	920.00	0.44	0.12	9.93	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	0.59	0.08	5.96	0.67	0.00	0.05
caat-li	279.90	0.74	0.05	5.96	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	11.01	0.67	0.50	0.50
CS	25.50						
CI	140.20						
CB	4000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

**ANEXO 5 - PARÂMETROS
CALIBRADOS PARA O MODELO
MGB-SAT NA BACIA DO SÃO
FRANCISCO ATÉ TRÊS MARIAS**

Bacia 1

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	684.00	1.33	0.02	26.32	0.67	0.00	0.05
floresta	2593.00	0.26	0.65	52.63	0.67	0.00	0.05
irrigacao	3895.00	0.41	0.44	43.86	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	734.50	0.41	0.65	52.63	0.67	0.00	0.05
pastage-li	346.10	0.79	0.27	26.32	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	9525.60	0.26	0.65	52.63	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	2357.50	0.79	0.61	26.32	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	1.07	0.27	26.32	0.67	0.00	0.05
caat-li	279.90	1.33	0.16	26.32	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	26.32	0.67	0.50	0.50
CS	78.80						
CI	430.10						
CB	4800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 2

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	390.00	0.41	0.02	5.19	0.67	0.00	0.05
floresta	4133.00	0.08	0.78	13.84	0.67	0.00	0.05
irrigacao	5431.00	0.12	0.52	8.65	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1193.00	0.16	0.78	13.84	0.67	0.00	0.05
pastage-li	296.00	0.24	0.41	8.65	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	2737.00	0.16	0.78	13.84	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	2777.00	0.24	0.41	8.65	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	0.32	0.26	5.19	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.41	0.15	5.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	6.57	0.67	0.50	0.50
CS	56.00						
CI	22.20						
CB	6300.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 3

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	1106.30	0.70	0.01	13.96	0.67	0.00	0.05
floresta	5031.00	0.14	0.58	37.22	0.67	0.00	0.05
irrigacao	3658.80	0.21	0.39	23.27	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1413.00	0.28	0.58	37.22	0.67	0.00	0.05
pastage-li	513.50	0.42	0.31	23.27	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	3071.00	0.28	0.58	37.22	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	1829.10	0.42	0.31	23.27	0.67	0.00	0.05
caat-sp	498.50	0.56	0.19	13.96	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.70	0.11	13.96	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	17.67	0.67	0.50	0.50
CS	80.70						
CI	56.50						
CB	3600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 4

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	462.00	0.63	0.00	5.45	0.67	0.00	0.05
floresta	2072.00	0.12	0.22	11.19	0.67	0.00	0.05
irrigacao	3347.00	0.19	0.15	9.09	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	2495.00	0.25	0.15	11.19	0.67	0.00	0.05
pastage-li	427.00	0.37	0.12	9.09	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	3536.00	0.25	0.15	11.19	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	2176.00	0.37	0.12	9.09	0.67	0.00	0.05
caat-sp	499.50	0.50	0.08	5.45	0.67	0.00	0.05
caat-li	302.09	0.63	0.04	5.45	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	10.00	0.67	0.50	0.50
CS	26.80						
CI	115.30						
CB	4000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

**ANEXO 6 – PARÂMETROS
CALIBRADOS PARA O MODELO
MGB-MISTO NA BACIA DO SÃO
FRANCISCO ATÉ TRÊS MARIAS**

Bacia 1

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	1471.00	1.44	0.02	69.90	0.67	0.00	0.05
floresta	2924.00	0.28	0.76	139.80	0.67	0.00	0.05
irrigacao	2863.00	0.44	0.51	116.50	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1114.00	0.44	0.76	139.80	0.67	0.00	0.05
pastage-li	311.00	0.86	0.32	69.90	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	6669.00	0.28	0.76	139.80	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	1571.00	0.86	0.70	69.90	0.67	0.00	0.05
caat-sp	524.00	1.16	0.32	69.90	0.67	0.00	0.05
caat-li	279.90	1.44	0.19	69.90	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	69.90	0.67	0.50	0.50
CS	73.60						
CI	84.40						
CB	4800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 2

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	294.00	0.52	0.02	5.12	0.67	0.00	0.05
floresta	4056.00	0.10	0.90	13.65	0.67	0.00	0.05
irrigacao	4232.00	0.15	0.61	8.53	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	995.00	0.21	0.90	13.65	0.67	0.00	0.05
pastage-li	278.00	0.31	0.48	8.53	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	2245.00	0.21	0.90	13.65	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	2130.60	0.31	0.48	8.53	0.67	0.00	0.05
caat-sp	498.50	0.41	0.30	23.70	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.52	0.18	23.70	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	6.48	0.67	0.50	0.50
CS	51.80						
CI	43.60						
CB	6300.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 3

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	112.00	0.73	0.01	16.99	0.67	0.00	0.05
floresta	5246.00	0.14	0.62	45.31	0.67	0.00	0.05
irrigacao	3250.00	0.22	0.41	28.32	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1150.00	0.29	0.62	45.31	0.67	0.00	0.05
pastage-li	468.00	0.43	0.33	28.32	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	3437.00	0.29	0.62	45.31	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	2115.00	0.43	0.33	28.32	0.67	0.00	0.05
caat-sp	498.50	0.58	0.21	16.99	0.67	0.00	0.05
caat-li	303.00	0.73	0.12	16.99	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	21.51	0.67	0.50	0.50
CS	58.20						
CI	123.00						
CB	3600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

BACIA 4

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
rocha	369.00	0.62	0.00	3.70	0.67	0.00	0.05
floresta	4670.00	0.12	0.22	7.59	0.67	0.00	0.05
irrigacao	6454.00	0.19	0.15	6.17	0.67	0.00	0.05
pastage-sp	1494.00	0.25	0.15	7.59	0.67	0.00	0.05
pastage-li	457.00	0.37	0.12	6.17	0.67	0.00	0.05
cerrado-sp	1667.00	0.25	0.15	7.59	0.67	0.00	0.05
cerrado-li	1536.00	0.37	0.12	6.17	0.67	0.00	0.05
caat-sp	499.50	0.49	0.07	3.70	0.67	0.00	0.05
caat-li	302.09	0.62	0.04	3.70	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.80	6.84	0.67	0.50	0.50
CS	23.60						
CI	126.60						
CB	4000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

ANEXO 7 – PARÂMETROS CALIBRADOS PARA O MODELO MGB-PLU NA BACIA DO TAPAJÓS

Nota: nos anexos 7 a 9, os blocos estão abreviados conforme a seguinte convenção: flo-roc: uso de floresta sobre solo litólico; flo-lat: floresta sobre latossolo; flo-pod: floresta sobre solo podzólico; flo-areia: floresta sobre solo arenoso; flo-hid: floresta sobre solos de várzea; past-lit: pastagem sobre solo litólico; past-lat: pastagem sobre latossolo; past-pod: pastagem sobre solo podzólico e past-areia: pastagem sobre solos arenosos.

Bacia 1				!Fazenda Tucunare				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1190.00	0.89	0.79	2.03	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	10824.00	0.24	7.41	11.66	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	383.00	0.15	0.79	9.86	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	15759.00	0.15	8.90	17.26	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	9055.00	0.55	8.90	17.26	0.67	0.00	0.05	
past-lit	339.00	0.89	0.79	2.03	0.67	0.00	0.05	
past-lat	15554.00	0.24	7.41	11.66	0.67	0.00	0.05	
past-pod	522.00	0.15	0.79	9.86	0.67	0.00	0.05	
past-areia	14740.00	0.15	8.90	17.26	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.79	9.86	0.67	0.50	0.50	
CS	485.00							
CI	4862.00							
CB	13000.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 2				!Utiariti				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	809.00	0.16	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	3748.00	0.08	3.60	9.54	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	3236.00	0.05	1.35	15.61	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	5292.00	0.05	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	3961.00	0.08	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05	
past-lit	88.00	0.18	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05	
past-lat	3484.00	0.10	3.43	9.54	0.67	0.00	0.05	
past-pod	1330.00	0.07	1.35	16.55	0.67	0.00	0.05	
past-areia	3979.00	0.07	3.43	16.55	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	1.27	16.55	0.67	0.50	0.50	
CS	93.00							
CI	567.00							
CB	9000.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 3				!Fazenda Satelite				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	809.00	0.23	0.74	5.29	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	4121.00	0.12	5.27	7.62	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	3220.00	0.07	1.98	12.29	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	1434.00	0.07	5.02	12.29	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	5955.00	0.12	5.02	12.29	0.67	0.00	0.05	
past-lit	88.00	0.25	0.74	5.29	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9602.00	0.14	5.02	7.62	0.67	0.00	0.05	
past-pod	1323.00	0.10	1.98	11.10	0.67	0.00	0.05	
past-areia	4284.00	0.10	5.02	11.10	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	1.85	11.10	0.67	0.50	0.50	
CS	155.00							
CI	237.00							
CB	7500.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 4				!Fontanilhas				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	702.00	0.16	0.27	1.09	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	12860.00	0.09	2.10	1.59	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	15840.00	0.04	0.80	2.53	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	23020.00	0.04	1.98	2.53	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	14494.00	0.09	1.98	2.53	0.67	0.00	0.05	
past-lit	472.00	0.18	0.27	1.09	0.67	0.00	0.05	
past-lat	5382.00	0.10	1.98	1.59	0.67	0.00	0.05	
past-pod	6885.00	0.07	0.80	2.29	0.67	0.00	0.05	
past-areia	21700.00	0.07	1.98	2.29	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.48	2.29	0.67	0.50	0.50	
CS	130.00							
CI	165.00							
CB	6700.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 5				!Fazenda Tombador			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	2095.00	0.22	0.34	4.77	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.12	0.66	6.87	0.67	0.00	0.05
flo-pod	7371.00	0.07	0.89	11.08	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10064.00	0.07	0.89	11.08	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10034.00	0.12	0.89	11.08	0.67	0.00	0.05
past-lit	1000.00	0.24	0.34	4.77	0.67	0.00	0.05
past-lat	8265.00	0.14	0.89	6.87	0.67	0.00	0.05
past-pod	5494.00	0.09	0.89	10.03	0.67	0.00	0.05
past-arei	8340.00	0.09	0.89	10.03	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.82	10.03	0.67	0.50	0.50
CS	133.00						
CI	165.00						
CB	4100.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 6				!Foz do Juruena			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1041.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	767.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	9960.00	0.00	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	183.00						
CI	334.00						
CB	4900.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 7				!Fazenda Taua			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	557.00	0.42	0.44	0.58	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.23	0.86	0.83	0.67	0.00	0.05
flo-pod	6640.00	0.14	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
flo-areia	13296.00	0.14	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13710.00	0.23	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
past-lit	925.00	0.47	0.44	0.58	0.67	0.00	0.05
past-lat	8040.00	0.28	1.16	0.83	0.67	0.00	0.05
past-pod	9255.00	0.18	1.16	1.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	12450.00	0.18	1.16	1.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.07	1.19	0.67	0.50	0.50
CS	338.00						
CI	560.00						
CB	3500.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 8				!Porto dos Gauchos			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	557.00	0.42	0.44	0.58	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.23	0.86	0.83	0.67	0.00	0.05
flo-pod	6640.00	0.14	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
flo-areia	13296.00	0.14	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13710.00	0.23	1.16	1.32	0.67	0.00	0.05
past-lit	925.00	0.47	0.44	0.58	0.67	0.00	0.05
past-lat	8040.00	0.28	1.16	0.83	0.67	0.00	0.05
past-pod	9255.00	0.18	1.16	1.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	12450.00	0.18	1.16	1.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.07	1.19	0.67	0.50	0.50
CS	338.00						
CI	560.00						
CB	3000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 9				!Rio dos Peixes			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	638.00	0.18	0.08	0.17	0.67	0.00	0.05
flo-lat	11808.00	0.10	0.15	0.25	0.67	0.00	0.05
flo-pod	8292.00	0.06	0.20	0.39	0.67	0.00	0.05
flo-areia	7728.00	0.06	0.20	0.39	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6730.00	0.10	0.20	0.39	0.67	0.00	0.05
past-lit	513.00	0.20	0.08	0.17	0.67	0.00	0.05
past-lat	5060.00	0.08	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05
past-pod	9100.00	0.08	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05
past-areia	5630.00	0.08	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.20	0.10	0.67	0.50	0.50
CS	290.00						
CI	868.00						
CB	1600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 10				!Rio Arinos			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	767.00	0.08	0.17	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19248.00	0.04	0.32	0.11	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19344.00	0.03	0.44	0.18	0.67	0.00	0.05
flo-areia	9984.00	0.03	0.44	0.18	0.67	0.00	0.05
flo-hid	12165.00	0.04	0.44	0.18	0.67	0.00	0.05
past-lit	694.00	0.09	0.17	0.08	0.67	0.00	0.05
past-lat	9735.00	0.06	0.44	0.11	0.67	0.00	0.05
past-pod	18210.00	0.04	0.44	0.16	0.67	0.00	0.05
past-areia	15285.00	0.04	0.44	0.16	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.44	0.16	0.67	0.50	0.50
CS	68.00						
CI	921.00						
CB	2300.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 11				!Foz do Juruena			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	837.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	598.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
past-areia	9960.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	183.00						
CI	334.00						
CB	2800.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 12				!Lucas do Rio Verde			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1096.00	0.42	0.48	28.15	0.67	0.00	0.05
flo-lat	6733.00	0.23	0.95	40.56	0.67	0.00	0.05
flo-pod	2475.00	0.14	1.29	65.36	0.67	0.00	0.05
flo-areia	2569.00	0.14	1.29	65.36	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3529.00	0.23	1.29	65.36	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.47	0.48	28.15	0.67	0.00	0.05
past-lat	5527.00	0.28	1.29	40.56	0.67	0.00	0.05
past-pod	4425.00	0.18	1.29	59.16	0.67	0.00	0.05
past-areia	3465.00	0.18	1.29	59.16	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.19	59.16	0.67	0.50	0.50
CS	118.00						
CI	88.00						
CB	3400.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 13				!Porto Roncador			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	345.00	1.03	0.11	0.18	0.67	0.00	0.05
flo-lat	1860.00	0.57	0.23	0.27	0.67	0.00	0.05
flo-pod	1257.00	0.34	0.31	0.45	0.67	0.00	0.05
flo-areia	1901.00	0.34	0.31	0.45	0.67	0.00	0.05
flo-hid	5090.00	0.57	0.31	0.45	0.67	0.00	0.05
past-lit	488.00	1.15	0.11	0.18	0.67	0.00	0.05
past-lat	835.00	0.68	0.23	0.27	0.67	0.00	0.05
past-pod	956.00	0.45	0.31	0.45	0.67	0.00	0.05
past-areia	2334.00	0.45	0.31	0.45	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.28	0.45	0.67	0.50	0.50
CS	79.00						
CI	455.00						
CB	1600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 14				!Teles Pires			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	535.00	0.50	0.12	2.63	0.67	0.00	0.05
flo-lat	603.00	0.39	0.85	49.68	0.67	0.00	0.05
flo-pod	2330.00	0.32	0.99	61.43	0.67	0.00	0.05
flo-areia	2560.00	0.32	0.99	61.43	0.67	0.00	0.05
flo-hid	1577.00	0.39	0.99	61.43	0.67	0.00	0.05
past-lit	540.00	0.54	0.12	2.63	0.67	0.00	0.05
past-lat	1242.00	0.34	0.85	49.68	0.67	0.00	0.05
past-pod	1500.00	0.34	0.99	61.43	0.67	0.00	0.05
past-areia	2697.00	0.34	0.99	61.43	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.99	61.43	0.67	0.50	0.50
CS	17.00						
CI	2655.00						
CB	1750.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 15				!Cachoeirao			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.14	0.11	1.83	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7069.00	0.11	0.75	2.64	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5312.00	0.09	0.89	4.26	0.67	0.00	0.05
flo-areia	5264.00	0.09	0.89	4.26	0.67	0.00	0.05
flo-hid	11811.00	0.11	0.89	4.26	0.67	0.00	0.05
past-lit	499.00	0.14	0.11	1.83	0.67	0.00	0.05
past-lat	1490.00	0.09	0.75	2.64	0.67	0.00	0.05
past-pod	3474.00	0.09	0.89	3.85	0.67	0.00	0.05
past-areia	4477.00	0.09	0.89	3.85	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.89	3.85	0.67	0.50	0.50
CS	55.00						
CI	193.00						
CB	2600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 16				!Fazenda Tratex			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.71	0.11	2.77	0.67	0.00	0.05
flo-lat	13613.00	0.55	0.19	4.00	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5890.00	0.45	0.97	6.44	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6170.00	0.48	0.97	6.44	0.67	0.00	0.05
flo-hid	4639.00	0.55	0.97	6.44	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.75	0.11	2.77	0.67	0.00	0.05
past-lat	6036.00	0.50	0.19	4.00	0.67	0.00	0.05
past-pod	3638.00	0.50	0.97	5.83	0.67	0.00	0.05
past-areia	2300.00	0.50	0.97	5.83	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.97	5.83	0.67	0.50	0.50
CS	129.00						
CI	573.00						
CB	2500.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 17		!INDECO						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	428.00	0.91	0.01	2.56	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	16240.00	0.71	0.02	3.69	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19008.00	0.58	0.12	5.94	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	6768.00	0.62	0.12	5.94	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	6300.00	0.71	0.12	5.94	0.67	0.00	0.05	
past-lit	394.00	0.96	0.01	2.56	0.67	0.00	0.05	
past-lat	12930.00	0.64	0.02	3.69	0.67	0.00	0.05	
past-pod	3000.00	0.64	0.12	5.38	0.67	0.00	0.05	
past-arei	9615.00	0.64	0.12	5.38	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.12	5.38	0.67	0.50	0.50	
CS	206.00							
CI	268.00							
CB	2100.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 18		!Estrada Cuiaba						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	886.00	0.09	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	20000.00	0.07	0.37	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	20000.00	0.06	0.37	0.30	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	16000.00	0.06	0.50	0.30	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	16000.00	0.07	0.50	0.30	0.67	0.00	0.05	
past-lit	420.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05	
past-lat	4064.00	0.06	0.37	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-pod	20000.00	0.06	0.37	0.27	0.67	0.00	0.05	
past-arei	16000.00	0.06	0.50	0.27	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.50	0.27	0.67	0.50	0.50	
CS	334.00							
CI	376.00							
CB	800.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 19		!Cachimbo						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1030.00	0.05	0.04	0.10	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	99.00	0.03	0.22	0.15	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	20000.00	0.01	0.44	0.23	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	19856.00	0.01	0.46	0.23	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	999.00	0.03	0.51	0.23	0.67	0.00	0.05	
past-lit	1625.00	0.05	0.04	0.10	0.67	0.00	0.05	
past-lat	999.00	0.03	0.22	0.15	0.67	0.00	0.05	
past-pod	7710.00	0.01	0.42	0.21	0.67	0.00	0.05	
past-arei	18735.00	0.01	0.46	0.21	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.11	0.21	0.67	0.50	0.50	
CS	200.00							
CI	746.00							
CB	1000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 20		!Base do cachimbo						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	9999.00	0.50	0.03	0.99	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	9999.00	0.24	0.06	1.43	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	13200.00	0.12	0.08	2.25	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	12770.00	0.12	0.08	2.25	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	9999.00	0.24	0.08	2.25	0.67	0.00	0.05	
past-lit	9999.00	0.50	0.03	0.99	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9999.00	0.32	0.08	1.43	0.67	0.00	0.05	
past-pod	11930.00	0.14	0.08	2.03	0.67	0.00	0.05	
past-arei	13780.00	0.14	0.08	2.03	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.08	2.03	0.67	0.50	0.50	
CS	199.00							
CI	1274.00							
CB	2000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 21				!Jusante foz Peixoto			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	448.00	1.88	0.01	0.87	0.67	0.00	0.05
flo-lat	14224.00	0.90	0.05	1.31	0.67	0.00	0.05
flo-pod	13744.00	0.45	0.10	2.01	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10992.00	0.45	0.11	2.01	0.67	0.00	0.05
flo-hid	15510.00	0.90	0.12	2.01	0.67	0.00	0.05
past-lit	809.00	1.88	0.01	0.87	0.67	0.00	0.05
past-lat	13095.00	1.20	0.05	1.31	0.67	0.00	0.05
past-pod	4830.00	0.53	0.10	1.84	0.67	0.00	0.05
past-arei	14280.00	0.53	0.11	1.84	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.11	1.84	0.67	0.50	0.50
CS	166.00						
CI	188.00						
CB	1850.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 22				!Santa Rosa			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	259.00	0.12	0.05	0.27	0.67	0.00	0.05
flo-lat	4096.00	0.06	0.10	0.41	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19968.00	0.03	0.13	0.63	0.67	0.00	0.05
flo-areia	14512.00	0.03	0.13	0.63	0.67	0.00	0.05
flo-hid	7650.00	0.06	0.13	0.63	0.67	0.00	0.05
past-lit	519.00	0.12	0.05	0.27	0.67	0.00	0.05
past-lat	10620.00	0.08	0.13	0.41	0.67	0.00	0.05
past-pod	5445.00	0.03	0.13	0.57	0.67	0.00	0.05
past-arei	8820.00	0.03	0.13	0.57	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.13	0.57	0.67	0.50	0.50
CS	160.00						
CI	846.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 23				!Tres Marias			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	149.00	0.07	0.04	3.88	0.67	0.00	0.05
flo-lat	445.00	0.04	0.07	5.89	0.67	0.00	0.05
flo-pod	745.00	0.02	0.10	9.05	0.67	0.00	0.05
flo-areia	648.00	0.02	0.10	9.05	0.67	0.00	0.05
flo-hid	2910.00	0.04	0.10	9.05	0.67	0.00	0.05
past-lit	390.00	0.07	0.04	3.88	0.67	0.00	0.05
past-lat	1677.00	0.05	0.10	5.89	0.67	0.00	0.05
past-pod	1602.00	0.02	0.10	8.19	0.67	0.00	0.05
past-areia	1122.00	0.02	0.10	8.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.10	8.19	0.67	0.50	0.50
CS	246.00						
CI	477.00						
CB	1900.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 24				!Barra do S Manuel			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	582.00	1.03	0.03	0.20	0.67	0.00	0.05
flo-lat	15968.00	0.50	0.05	0.31	0.67	0.00	0.05
flo-pod	15296.00	0.25	0.08	0.47	0.67	0.00	0.05
flo-areia	13184.00	0.25	0.08	0.47	0.67	0.00	0.05
flo-hid	12510.00	0.50	0.08	0.47	0.67	0.00	0.05
past-lit	431.00	1.03	0.03	0.20	0.67	0.00	0.05
past-lat	11242.00	0.66	0.08	0.31	0.67	0.00	0.05
past-pod	11588.00	0.29	0.08	0.43	0.67	0.00	0.05
past-arei	8805.00	0.29	0.08	0.43	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.08	0.43	0.67	0.50	0.50
CS	199.00						
CI	1207.00						
CB	2200.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 25		!Missao Cururu						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	648.00	0.27	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	4631.00	0.21	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	5439.00	0.17	0.19	0.12	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	16698.00	0.18	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	8683.00	0.21	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05	
past-lit	547.00	0.29	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
past-lat	7969.00	0.19	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05	
past-pod	4346.00	0.19	0.19	0.11	0.67	0.00	0.05	
past-arei	7492.00	0.19	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.19	0.11	0.67	0.50	0.50	
CS	218.00							
CI	494.00							
CB	970.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 26		!Fortaleza						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1853.00	0.12	0.11	0.32	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	5267.00	0.10	0.22	0.46	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	2392.00	0.08	0.29	0.73	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	6228.00	0.08	0.29	0.73	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	2748.00	0.10	0.29	0.73	0.67	0.00	0.05	
past-lit	515.00	0.13	0.11	0.32	0.67	0.00	0.05	
past-lat	1119.00	0.09	0.29	0.46	0.67	0.00	0.05	
past-pod	1745.00	0.09	0.29	0.66	0.67	0.00	0.05	
past-areia	2054.00	0.09	0.29	0.66	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.29	0.66	0.67	0.50	0.50	
CS	242.00							
CI	258.00							
CB	2050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 27		!CrepORIZAO						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	148.00	0.62	0.06	7.73	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	490.00	0.48	0.13	12.42	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	360.00	0.39	0.17	19.54	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	778.00	0.41	0.17	19.54	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	585.00	0.48	0.17	19.54	0.67	0.00	0.05	
past-lit	320.00	0.67	0.06	7.73	0.67	0.00	0.05	
past-lat	397.00	0.44	0.17	12.42	0.67	0.00	0.05	
past-pod	490.00	0.44	0.17	17.40	0.67	0.00	0.05	
past-areia	784.00	0.44	0.17	17.40	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.17	17.40	0.67	0.50	0.50	
CS	187.00							
CI	425.00							
CB	1050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 28		!Jatoba						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	620.00	0.60	0.19	0.65	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	18080.00	0.46	0.41	1.05	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	18928.00	0.38	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	8784.00	0.40	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	3255.00	0.46	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05	
past-lit	742.00	0.65	0.19	0.65	0.67	0.00	0.05	
past-lat	11640.00	0.42	0.54	1.05	0.67	0.00	0.05	
past-pod	16050.00	0.42	0.54	1.47	0.67	0.00	0.05	
past-arei	8100.00	0.42	0.54	1.47	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.54	1.47	0.67	0.50	0.50	
CS	270.00							
CI	436.00							
CB	2050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 29

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	620.00	0.60	0.19	0.65	0.67	0.00	0.05
flo-lat	18080.00	0.46	0.41	1.05	0.67	0.00	0.05
flo-pod	18928.00	0.38	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05
flo-areia	8784.00	0.40	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3255.00	0.46	0.54	1.65	0.67	0.00	0.05
past-lit	742.00	0.65	0.19	0.65	0.67	0.00	0.05
past-lat	11640.00	0.42	0.54	1.05	0.67	0.00	0.05
past-pod	16050.00	0.42	0.54	1.47	0.67	0.00	0.05
past-areia	8100.00	0.42	0.54	1.47	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.54	1.47	0.67	0.50	0.50
CS	270.00						
CI	436.00						
CB	2050.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Acara do Tapajos

Bacia 30

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	495.00	0.08	0.01	3.60	0.67	0.00	0.05
flo-lat	819.00	0.06	0.09	5.19	0.67	0.00	0.05
flo-pod	923.00	0.05	0.11	8.37	0.67	0.00	0.05
flo-areia	814.00	0.05	0.11	8.37	0.67	0.00	0.05
flo-hid	1055.00	0.06	0.11	8.37	0.67	0.00	0.05
past-lit	174.00	0.08	0.01	3.60	0.67	0.00	0.05
past-lat	227.00	0.05	0.09	5.19	0.67	0.00	0.05
past-pod	408.00	0.05	0.11	7.57	0.67	0.00	0.05
past-areia	403.00	0.05	0.11	7.57	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.11	7.57	0.67	0.50	0.50
CS	69.00						
CI	149.00						
CB	700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Travessao/Garimpo

Bacia 31

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	683.00	0.23	0.05	0.05	0.67	0.00	0.05
flo-lat	14368.00	0.17	0.10	0.07	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19584.00	0.14	0.13	0.11	0.67	0.00	0.05
flo-areia	12000.00	0.15	0.13	0.11	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13425.00	0.17	0.13	0.11	0.67	0.00	0.05
past-lit	410.00	0.25	0.05	0.05	0.67	0.00	0.05
past-lat	13605.00	0.16	0.13	0.07	0.67	0.00	0.05
past-pod	12240.00	0.16	0.13	0.10	0.67	0.00	0.05
past-areia	13455.00	0.16	0.13	0.10	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.13	0.10	0.67	0.50	0.50
CS	271.00						
CI	655.00						
CB	800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Novo Progresso

Bacia 32

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	447.00	0.15	0.01	0.10	0.67	0.00	0.05
flo-lat	17748.00	0.11	0.02	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	16231.00	0.09	0.03	0.23	0.67	0.00	0.05
flo-areia	9030.00	0.10	0.03	0.23	0.67	0.00	0.05
flo-hid	5988.00	0.11	0.03	0.23	0.67	0.00	0.05
past-lit	668.00	0.16	0.01	0.10	0.67	0.00	0.05
past-lat	12141.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05
past-pod	4928.00	0.10	0.03	0.21	0.67	0.00	0.05
past-areia	14040.00	0.10	0.03	0.21	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.03	0.21	0.67	0.50	0.50
CS	222.00						
CI	844.00						
CB	740.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Jardim do Ouro

Bacia 33				!Jardim do Ouro				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	569.00	0.15	0.00	0.02	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19872.00	0.11	0.01	0.03	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19456.00	0.09	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	5138.00	0.10	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	4198.00	0.11	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
past-lit	315.00	0.16	0.00	0.02	0.67	0.00	0.05	
past-lat	11295.00	0.10	0.01	0.03	0.67	0.00	0.05	
past-pod	13200.00	0.10	0.01	0.04	0.67	0.00	0.05	
past-arei	12664.00	0.10	0.01	0.04	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.01	0.04	0.67	0.50	0.50	
CS	146.00							
CI	224.00							
CB	750.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 34				!Itaituba				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	809.00	0.30	0.09	0.65	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	16000.00	0.22	0.21	1.05	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	16000.00	0.18	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	16000.00	0.20	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	15000.00	0.22	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
past-lit	500.00	0.32	0.09	0.65	0.67	0.00	0.05	
past-lat	15000.00	0.20	0.27	1.05	0.67	0.00	0.05	
past-pod	15000.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.00	0.05	
past-arei	15000.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.50	0.50	
CS	90.00							
CI	477.00							
CB	1700.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 35				!Fazenda Goiano				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	809.00	0.30	0.12	0.62	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	6251.00	0.23	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	4198.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	6000.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	6000.00	0.23	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05	
past-lit	500.00	0.32	0.12	1.45	0.67	0.00	0.05	
past-lat	1914.00	0.21	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05	
past-pod	1453.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05	
past-areia	4000.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.29	1.28	0.67	0.50	0.50	
CS	58.00							
CI	723.00							
CB	1320.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 36				!Foz no Amazonas				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	809.00	0.30	0.09	0.65	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	16000.00	0.22	0.21	1.05	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	16000.00	0.18	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	16000.00	0.20	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	15000.00	0.22	0.27	1.65	0.67	0.00	0.05	
past-lit	500.00	0.32	0.09	0.65	0.67	0.00	0.05	
past-lat	15000.00	0.20	0.27	1.05	0.67	0.00	0.05	
past-pod	15000.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.00	0.05	
past-arei	15000.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.20	0.27	1.47	0.67	0.50	0.50	
CS	90.00							
CI	477.00							
CB	1700.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

**ANEXO 8 – PARÂMETROS
CALIBRADOS PARA O MODELO
MGB-SAT NA BACIA DO TAPAJÓS**

Bacia 1				!Fazenda Tucunare			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1190.00	1.59	0.84	1.16	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7897.00	0.43	10.08	13.42	0.67	0.00	0.05
flo-pod	383.00	0.29	0.84	5.68	0.67	0.00	0.05
flo-areia	3917.00	0.29	15.12	19.87	0.67	0.00	0.05
flo-hid	5092.00	0.97	15.12	19.87	0.67	0.00	0.05
past-lit	339.00	1.59	0.84	1.16	0.67	0.00	0.05
past-lat	9132.00	0.43	10.08	13.42	0.67	0.00	0.05
past-pod	522.00	0.29	0.84	5.68	0.67	0.00	0.05
past-areia	5816.00	0.29	15.12	19.87	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.84	5.68	0.67	0.50	0.50
CS	268.00						
CI	8060.00						
CB	13000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 2				!Utiariti			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00	0.16	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05
flo-lat	3748.00	0.08	3.60	9.54	0.67	0.00	0.05
flo-pod	3236.00	0.05	1.35	15.61	0.67	0.00	0.05
flo-areia	5292.00	0.05	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3961.00	0.08	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05
past-lit	88.00	0.18	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05
past-lat	3484.00	0.10	3.43	9.54	0.67	0.00	0.05
past-pod	1330.00	0.07	1.35	16.55	0.67	0.00	0.05
past-areia	3979.00	0.07	3.43	16.55	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.27	16.55	0.67	0.50	0.50
CS	93.00						
CI	567.00						
CB	9000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 3				!Fazenda Satelite			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00	0.27	0.56	20.20	0.67	0.00	0.05
flo-lat	5235.00	0.15	3.99	29.10	0.67	0.00	0.05
flo-pod	8220.00	0.09	1.50	46.92	0.67	0.00	0.05
flo-areia	3909.00	0.09	3.80	46.92	0.67	0.00	0.05
flo-hid	5484.00	0.15	3.80	46.92	0.67	0.00	0.05
past-lit	88.00	0.30	0.56	20.20	0.67	0.00	0.05
past-lat	6942.00	0.17	3.80	29.10	0.67	0.00	0.05
past-pod	8323.00	0.12	1.50	42.38	0.67	0.00	0.05
past-areia	3082.00	0.12	3.80	42.38	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.40	42.38	0.67	0.50	0.50
CS	309.00						
CI	4913.00						
CB	7500.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 4				!Fontanilhas			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	776.00	0.19	0.10	2.63	0.67	0.00	0.05
flo-lat	15358.00	0.10	0.75	3.83	0.67	0.00	0.05
flo-pod	13705.00	0.06	0.28	6.10	0.67	0.00	0.05
flo-areia	21809.00	0.06	0.71	6.10	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10005.00	0.10	0.71	6.10	0.67	0.00	0.05
past-lit	891.00	0.21	0.10	2.63	0.67	0.00	0.05
past-lat	7319.00	0.11	0.71	3.83	0.67	0.00	0.05
past-pod	11450.00	0.08	0.28	5.51	0.67	0.00	0.05
past-areia	11692.00	0.08	0.71	5.51	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.17	5.51	0.67	0.50	0.50
CS	133.00						
CI	325.00						
CB	6700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 5				!Fazenda Tombador			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	785.00	0.31	0.66	0.41	0.67	0.00	0.05
flo-lat	22316.00	0.17	1.25	0.59	0.67	0.00	0.05
flo-pod	17453.00	0.10	1.69	0.95	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10629.00	0.10	1.69	0.95	0.67	0.00	0.05
flo-hid	15461.00	0.17	1.69	0.95	0.67	0.00	0.05
past-lit	1000.00	0.35	0.66	0.41	0.67	0.00	0.05
past-lat	16481.00	0.21	1.69	0.59	0.67	0.00	0.05
past-pod	15458.00	0.14	1.69	0.86	0.67	0.00	0.05
past-arei	17006.00	0.14	1.69	0.86	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.20	0.86	0.67	0.50	0.50
CS	401.00						
CI	887.00						
CB	4100.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 6				!Foz do Juruena			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1041.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	767.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	9960.00	0.00	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	183.00						
CI	334.00						
CB	4900.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 7				!Fazenda Taua			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1185.00	0.20	0.35	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.11	0.62	0.47	0.67	0.00	0.05
flo-pod	11280.00	0.07	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16528.00	0.07	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
flo-hid	7069.00	0.11	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
past-lit	458.00	0.23	0.35	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lat	6390.00	0.14	0.92	0.47	0.67	0.00	0.05
past-pod	18300.00	0.09	0.92	0.69	0.67	0.00	0.05
past-arei	11025.00	0.09	0.92	0.69	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.10	0.67	0.67	0.50	0.50
CS	245.00						
CI	1423.00						
CB	3500.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 8				!Porto dos Gauchos			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1185.00	0.20	0.35	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.11	0.62	0.47	0.67	0.00	0.05
flo-pod	11280.00	0.07	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16528.00	0.07	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
flo-hid	7069.00	0.11	0.92	0.76	0.67	0.00	0.05
past-lit	458.00	0.23	0.35	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lat	6390.00	0.14	0.92	0.47	0.67	0.00	0.05
past-pod	18300.00	0.09	0.92	0.69	0.67	0.00	0.05
past-arei	11025.00	0.09	0.92	0.69	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.10	0.67	0.67	0.50	0.50
CS	245.00						
CI	1423.00						
CB	3000.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 9				!Rio dos Peixes			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1138.00	0.09	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7490.00	0.05	0.15	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-pod	15400.00	0.03	0.22	0.51	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10710.00	0.03	0.22	0.51	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10773.00	0.05	0.22	0.51	0.67	0.00	0.05
past-lit	1182.00	0.10	0.08	0.22	0.67	0.00	0.05
past-lat	15165.00	0.06	0.22	0.32	0.67	0.00	0.05
past-pod	10575.00	0.04	0.22	0.46	0.67	0.00	0.05
past-arei	7749.00	0.04	0.22	0.46	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.22	0.46	0.67	0.50	0.50
CS	178.00						
CI	1233.00						
CB	1600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 10				!Rio Arinos			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	652.00	0.05	0.11	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-lat	8736.00	0.03	0.21	0.33	0.67	0.00	0.05
flo-pod	17856.00	0.02	0.30	0.52	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10784.00	0.02	0.30	0.52	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9285.00	0.03	0.30	0.52	0.67	0.00	0.05
past-lit	1036.00	0.05	0.11	0.23	0.67	0.00	0.05
past-lat	12030.00	0.03	0.30	0.33	0.67	0.00	0.05
past-pod	6330.00	0.02	0.30	0.47	0.67	0.00	0.05
past-arei	7965.00	0.02	0.30	0.47	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.30	0.47	0.67	0.50	0.50
CS	78.00						
CI	431.00						
CB	2300.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 11				!Foz do Juruena			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	837.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	598.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	9960.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	183.00						
CI	334.00						
CB	2800.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 12				!Lucas do Rio Verde			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1092.00	0.25	0.39	0.39	0.67	0.00	0.05
flo-lat	17072.00	0.14	0.76	0.57	0.67	0.00	0.05
flo-pod	16928.00	0.08	1.02	0.92	0.67	0.00	0.05
flo-areia	12176.00	0.08	1.02	0.92	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9584.00	0.14	1.02	0.92	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.28	0.39	0.39	0.67	0.00	0.05
past-lat	10470.00	0.16	1.02	0.57	0.67	0.00	0.05
past-pod	12600.00	0.11	1.02	0.83	0.67	0.00	0.05
past-arei	8535.00	0.11	1.02	0.83	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.95	0.83	0.67	0.50	0.50
CS	378.00						
CI	618.00						
CB	3400.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 13				!Porto Roncador			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	700.00	1.11	0.07	0.51	0.67	0.00	0.05
flo-lat	10891.00	0.61	0.13	0.76	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5225.00	0.36	0.18	1.24	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10895.00	0.36	0.18	1.24	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8347.00	0.61	0.18	1.24	0.67	0.00	0.05
past-lit	669.00	1.23	0.07	0.51	0.67	0.00	0.05
past-lat	14432.00	0.73	0.13	0.76	0.67	0.00	0.05
past-pod	3398.00	0.48	0.18	1.24	0.67	0.00	0.05
past-arei	16787.00	0.48	0.18	1.24	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.16	1.24	0.67	0.50	0.50
CS	110.00						
CI	296.00						
CB	1600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 14				!Teles Pires			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	537.00	0.31	0.06	0.95	0.67	0.00	0.05
flo-lat	12998.00	0.25	0.40	4.77	0.67	0.00	0.05
flo-pod	2330.00	0.20	0.47	9.02	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11472.00	0.20	0.47	9.02	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8544.00	0.25	0.47	9.02	0.67	0.00	0.05
past-lit	540.00	0.33	0.06	0.95	0.67	0.00	0.05
past-lat	16579.00	0.21	0.40	4.77	0.67	0.00	0.05
past-pod	1500.00	0.21	0.47	9.02	0.67	0.00	0.05
past-arei	3734.00	0.21	0.47	9.02	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.47	9.02	0.67	0.50	0.50
CS	35.00						
CI	798.00						
CB	1750.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 15				!Cachoeirao			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.48	0.07	3.19	0.67	0.00	0.05
flo-lat	18176.00	0.38	0.47	4.59	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5254.00	0.31	0.55	7.39	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6000.00	0.31	0.55	7.39	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3567.00	0.38	0.55	7.39	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.51	0.07	3.19	0.67	0.00	0.05
past-lat	17850.00	0.34	0.47	4.59	0.67	0.00	0.05
past-pod	1460.00	0.34	0.55	6.69	0.67	0.00	0.05
past-arei	10290.00	0.34	0.55	6.69	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.55	6.69	0.67	0.50	0.50
CS	329.00						
CI	879.00						
CB	2600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 16				!Fazenda Tratex			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.10	0.10	1.34	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19504.00	0.08	0.01	1.94	0.67	0.00	0.05
flo-pod	9255.00	0.07	0.90	3.12	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16048.00	0.07	0.90	3.12	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3311.00	0.08	0.90	3.12	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.11	0.10	1.34	0.67	0.00	0.05
past-lat	6285.00	0.07	0.01	1.94	0.67	0.00	0.05
past-pod	8134.00	0.07	0.90	2.83	0.67	0.00	0.05
past-arei	14985.00	0.07	0.90	2.83	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.90	2.83	0.67	0.50	0.50
CS	140.00						
CI	1741.00						
CB	2500.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 17		!INDECO						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1977.00	0.05	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	12720.00	0.04	0.08	0.20	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	15696.00	0.03	0.10	0.32	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	8384.00	0.03	0.10	0.32	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	10400.00	0.04	0.10	0.32	0.67	0.00	0.05	
past-lit	1445.00	0.05	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05	
past-lat	4380.00	0.03	0.08	0.20	0.67	0.00	0.05	
past-pod	18735.00	0.03	0.10	0.29	0.67	0.00	0.05	
past-arei	3045.00	0.03	0.10	0.29	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.10	0.29	0.67	0.50	0.50	
CS	127.00							
CI	259.00							
CB	2100.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 18		!Estrada Cuiaba						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1203.00	0.17	0.02	0.11	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19424.00	0.09	0.04	0.15	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19472.00	0.09	0.04	0.24	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	2000.00	0.06	0.08	0.24	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	2000.00	0.06	0.08	0.24	0.67	0.00	0.05	
past-lit	1995.00	0.18	0.02	0.11	0.67	0.00	0.05	
past-lat	16032.00	0.10	0.04	0.15	0.67	0.00	0.05	
past-pod	12624.00	0.09	0.04	0.22	0.67	0.00	0.05	
past-arei	1500.00	0.06	0.08	0.22	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.08	0.22	0.67	0.50	0.50	
CS	312.00							
CI	359.00							
CB	800.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 19		!Cachimbo						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	337.00	0.07	0.01	0.34	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	99.00	0.03	0.32	0.46	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19824.00	0.02	0.34	0.73	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	13408.00	0.02	0.35	0.73	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	999.00	0.03	0.04	0.73	0.67	0.00	0.05	
past-lit	1058.00	0.07	0.01	0.34	0.67	0.00	0.05	
past-lat	999.00	0.05	0.02	0.46	0.67	0.00	0.05	
past-pod	17955.00	0.02	0.32	0.67	0.67	0.00	0.05	
past-arei	18090.00	0.02	0.35	0.67	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.04	0.67	0.67	0.50	0.50	
CS	123.00							
CI	210.00							
CB	1000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 20		!Base do cachimbo						
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	999.00	0.71	0.10	4.70	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	10049.00	0.56	0.67	6.76	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	580.00	0.46	0.78	10.88	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	3497.00	0.46	0.78	10.88	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	5049.00	0.56	0.78	10.88	0.67	0.00	0.05	
past-lit	999.00	0.75	0.10	4.70	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9999.00	0.50	0.67	6.76	0.67	0.00	0.05	
past-pod	3047.00	0.50	0.78	9.85	0.67	0.00	0.05	
past-areia	3650.00	0.50	0.78	9.85	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	9.85	9.85	0.67	0.50	0.50	
CS	153.00							
CI	1836.00							
CB	2000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 21				!Jusante foz Peixoto			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	566.00	0.56	0.08	2.64	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7664.00	0.44	0.14	3.78	0.67	0.00	0.05
flo-pod	3248.00	0.36	0.21	6.09	0.67	0.00	0.05
flo-areia	7552.00	0.36	0.21	6.09	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9915.00	0.44	0.21	6.09	0.67	0.00	0.05
past-lit	444.00	0.59	0.08	2.64	0.67	0.00	0.05
past-lat	11670.00	0.39	0.21	3.78	0.67	0.00	0.05
past-pod	5505.00	0.39	0.21	5.51	0.67	0.00	0.05
past-arei	6225.00	0.39	0.21	5.51	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.21	5.51	0.67	0.50	0.50
CS	191.00						
CI	300.00						
CB	1850.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 22				!Santa Rosa			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	307.00	0.46	0.06	0.64	0.67	0.00	0.05
flo-lat	16560.00	0.36	0.10	0.91	0.67	0.00	0.05
flo-pod	17120.00	0.30	0.15	1.47	0.67	0.00	0.05
flo-areia	18064.00	0.30	0.15	1.47	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6315.00	0.36	0.15	1.47	0.67	0.00	0.05
past-lit	799.00	0.49	0.06	0.64	0.67	0.00	0.05
past-lat	7755.00	0.32	0.15	0.91	0.67	0.00	0.05
past-pod	9885.00	0.32	0.15	1.33	0.67	0.00	0.05
past-arei	13935.00	0.32	0.15	1.33	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.15	1.33	0.67	0.50	0.50
CS	200.00						
CI	320.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 23				!Tres Marias			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	236.00	0.24	0.11	2.42	0.67	0.00	0.05
flo-lat	3458.00	0.19	0.18	3.45	0.67	0.00	0.05
flo-pod	7271.00	0.16	0.27	5.57	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6669.00	0.16	0.27	5.57	0.67	0.00	0.05
flo-hid	7596.00	0.19	0.27	5.57	0.67	0.00	0.05
past-lit	863.00	0.26	0.11	2.42	0.67	0.00	0.05
past-lat	10224.00	0.17	0.27	3.45	0.67	0.00	0.05
past-pod	9552.00	0.17	0.27	5.04	0.67	0.00	0.05
past-arei	9228.00	0.17	0.27	5.04	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.27	5.04	0.67	0.50	0.50
CS	199.00						
CI	340.00						
CB	1900.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 24				!Barra do S Manuel			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	499.00	3.67	0.18	15.43	0.67	0.00	0.05
flo-lat	2987.00	2.91	0.29	21.99	0.67	0.00	0.05
flo-pod	7126.00	2.45	0.43	35.51	0.67	0.00	0.05
flo-areia	12096.00	2.45	0.43	35.51	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6175.00	2.91	0.43	35.51	0.67	0.00	0.05
past-lit	570.00	3.98	0.18	15.43	0.67	0.00	0.05
past-lat	7585.00	2.60	0.43	21.99	0.67	0.00	0.05
past-pod	13393.00	2.60	0.43	32.13	0.67	0.00	0.05
past-arei	6760.00	2.60	0.43	32.13	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.43	32.13	0.67	0.50	0.50
CS	168.00						
CI	180.00						
CB	2200.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 25				!Missao Cururu			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	648.00	0.27	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05
flo-lat	4631.00	0.21	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5439.00	0.17	0.19	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16698.00	0.18	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8683.00	0.21	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05
past-lit	547.00	0.29	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05
past-lat	7969.00	0.19	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05
past-pod	4346.00	0.19	0.19	0.11	0.67	0.00	0.05
past-arei	7492.00	0.19	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	0.11	0.67	0.50	0.50
CS	218.00						
CI	494.00						
CB	970.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 26				!Fortaleza			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	807.00	0.26	0.06	45.63	0.67	0.00	0.05
flo-lat	481.00	0.21	0.10	65.02	0.67	0.00	0.05
flo-pod	1012.00	0.18	0.14	105.00	0.67	0.00	0.05
flo-areia	687.00	0.18	0.14	105.00	0.67	0.00	0.05
flo-hid	1106.00	0.21	0.14	105.00	0.67	0.00	0.05
past-lit	879.00	0.28	0.06	45.63	0.67	0.00	0.05
past-lat	1090.00	0.18	0.14	65.02	0.67	0.00	0.05
past-pod	587.00	0.18	0.14	95.01	0.67	0.00	0.05
past-areia	1076.00	0.18	0.14	95.01	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.14	95.01	0.67	0.50	0.50
CS	100.00						
CI	111.00						
CB	2050.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 27				!CrepORIZAO			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	442.00	0.23	0.05	2.70	0.67	0.00	0.05
flo-lat	522.00	0.19	0.09	3.85	0.67	0.00	0.05
flo-pod	582.00	0.16	0.12	6.22	0.67	0.00	0.05
flo-areia	516.00	0.16	0.12	6.22	0.67	0.00	0.05
flo-hid	865.00	0.19	0.12	6.22	0.67	0.00	0.05
past-lit	528.00	0.25	0.05	2.70	0.67	0.00	0.05
past-lat	301.00	0.16	0.12	3.85	0.67	0.00	0.05
past-pod	659.00	0.16	0.12	5.65	0.67	0.00	0.05
past-areia	989.00	0.16	0.12	5.62	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.12	5.62	0.67	0.50	0.50
CS	222.00						
CI	226.00						
CB	1050.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 28				!Jatoba			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	946.00	0.47	0.08	1.18	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19648.00	0.39	0.14	1.69	0.67	0.00	0.05
flo-pod	10544.00	0.33	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
flo-areia	12992.00	0.33	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8775.00	0.39	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
past-lit	392.00	0.51	0.08	1.18	0.67	0.00	0.05
past-lat	12285.00	0.33	0.19	1.69	0.67	0.00	0.05
past-pod	12360.00	0.33	0.19	2.47	0.67	0.00	0.05
past-arei	12960.00	0.33	0.19	2.47	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	2.47	0.67	0.50	0.50
CS	217.00						
CI	616.00						
CB	2100.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 29

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	946.00	0.47	0.08	1.18	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19648.00	0.39	0.14	1.69	0.67	0.00	0.05
flo-pod	10544.00	0.33	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
flo-areia	12992.00	0.33	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8775.00	0.39	0.19	2.72	0.67	0.00	0.05
past-lit	392.00	0.51	0.08	1.18	0.67	0.00	0.05
past-lat	12285.00	0.33	0.19	1.69	0.67	0.00	0.05
past-pod	12360.00	0.33	0.19	2.47	0.67	0.00	0.05
past-arei	12960.00	0.33	0.19	2.47	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	2.47	0.67	0.50	0.50
CS	217.00						
CI	616.00						
CB	2100.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Acara do Tapajos

Bacia 30

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	588.00	0.19	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-lat	11792.00	0.15	0.03	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-pod	15680.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15072.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10860.00	0.15	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	663.00	0.20	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
past-lat	11220.00	0.13	0.04	0.12	0.67	0.00	0.05
past-pod	13725.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
past-arei	8955.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.04	0.17	0.67	0.50	0.50
CS	220.00						
CI	411.00						
CB	700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Travessao/Garimpo

Bacia 31

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	588.00	0.19	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-lat	11792.00	0.15	0.03	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-pod	15680.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15072.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10860.00	0.15	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	663.00	0.20	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
past-lat	11220.00	0.13	0.04	0.12	0.67	0.00	0.05
past-pod	13725.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
past-arei	8955.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.04	0.17	0.67	0.50	0.50
CS	220.00						
CI	411.00						
CB	800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Novo Progresso

Bacia 32

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	588.00	0.19	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-lat	11792.00	0.15	0.03	0.12	0.67	0.00	0.05
flo-pod	15680.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15072.00	0.13	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10860.00	0.15	0.04	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	663.00	0.20	0.02	0.08	0.67	0.00	0.05
past-lat	11220.00	0.13	0.04	0.12	0.67	0.00	0.05
past-pod	13725.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
past-arei	8955.00	0.13	0.04	0.17	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.04	0.17	0.67	0.50	0.50
CS	220.00						
CI	411.00						
CB	740.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Jardim do Ouro

Bacia 33				!Jamanxim			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	992.00	0.39	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19952.00	0.32	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19872.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11200.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13635.00	0.32	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lit	440.00	0.42	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
past-lat	10050.00	0.27	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
past-pod	12330.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
past-arei	9900.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.02	0.29	0.67	0.50	0.50
CS	115.00						
CI	965.00						
CB	740.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 34				!Itaituba			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	992.00	0.39	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19952.00	0.32	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19872.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11200.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13635.00	0.32	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lit	440.00	0.42	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
past-lat	10050.00	0.27	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
past-pod	12330.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
past-arei	9900.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.02	0.29	0.67	0.50	0.50
CS	115.00						
CI	965.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 35				!Fazenda Goiano			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00	0.30	0.12	0.62	0.67	0.00	0.05
flo-lat	6251.00	0.23	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05
flo-pod	4198.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6000.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6000.00	0.23	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.32	0.12	1.45	0.67	0.00	0.05
past-lat	1914.00	0.21	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05
past-pod	1453.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05
past-areia	4000.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.29	1.28	0.67	0.50	0.50
CS	58.00						
CI	723.00						
CB	1320.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 36				!Foz no amazonas			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	992.00	0.39	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19952.00	0.32	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19872.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11200.00	0.27	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-hid	13635.00	0.32	0.02	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lit	440.00	0.42	0.01	0.14	0.67	0.00	0.05
past-lat	10050.00	0.27	0.02	0.20	0.67	0.00	0.05
past-pod	12330.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
past-arei	9900.00	0.27	0.02	0.29	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.02	0.29	0.67	0.50	0.50
CS	115.00						
CI	965.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

**ANEXO 9 – PARÂMETROS
CALIBRADOS PARA O MODELO
MGB-MISTO NA BACIA DO
TAPAJÓS**

Bacia 1				!Fazenda Tucunare				
	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1190.00		0.60	0.71	1.62	0.67	0.00	0.05
flo-lat	9769.00		0.16	6.63	9.33	0.67	0.00	0.05
flo-pod	383.00		0.10	0.71	7.89	0.67	0.00	0.05
flo-areia	10735.00		0.10	7.96	13.81	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9028.00		0.37	7.96	13.81	0.67	0.00	0.05
past-lit	339.00		0.60	0.71	1.62	0.67	0.00	0.05
past-lat	10734.00		0.16	6.63	9.33	0.67	0.00	0.05
past-pod	522.00		0.10	0.71	7.89	0.67	0.00	0.05
past-arei	10082.00		0.10	7.96	13.81	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.71	7.89	0.67	0.50	0.50
CS	311.00							
CI	5858.00							
CB	13000.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 2				!Utiariti				
	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00		0.16	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05
flo-lat	3748.00		0.08	3.60	9.54	0.67	0.00	0.05
flo-pod	3236.00		0.05	1.35	15.61	0.67	0.00	0.05
flo-areia	5292.00		0.05	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3961.00		0.08	3.43	15.61	0.67	0.00	0.05
past-lit	88.00		0.18	0.51	6.54	0.67	0.00	0.05
past-lat	3484.00		0.10	3.43	9.54	0.67	0.00	0.05
past-pod	1330.00		0.07	1.35	16.55	0.67	0.00	0.05
past-areia	3979.00		0.07	3.43	16.55	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	1.27	16.55	0.67	0.50	0.50
CS	93.00							
CI	567.00							
CB	9000.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 3				!Fazenda Satelite				
	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00		0.21	0.76	16.06	0.67	0.00	0.05
flo-lat	7212.00		0.11	3.64	23.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	3220.00		0.06	2.04	37.31	0.67	0.00	0.05
flo-areia	8165.00		0.06	3.45	37.31	0.67	0.00	0.05
flo-hid	5512.00		0.11	3.45	37.31	0.67	0.00	0.05
past-lit	88.00		0.23	0.76	16.06	0.67	0.00	0.05
past-lat	6076.00		0.13	3.45	23.14	0.67	0.00	0.05
past-pod	1323.00		0.09	2.04	33.69	0.67	0.00	0.05
past-areia	5017.00		0.09	3.45	33.69	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	1.91	33.69	0.67	0.50	0.50
CS	155.00							
CI	1011.00							
CB	7500.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 4				!Fontanilhas				
	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1053.00		0.23	0.31	0.51	0.67	0.00	0.05
flo-lat	21895.00		0.13	2.37	0.75	0.67	0.00	0.05
flo-pod	23137.00		0.07	0.89	1.19	0.67	0.00	0.05
flo-areia	25254.00		0.07	2.25	1.19	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8948.00		0.13	2.25	1.19	0.67	0.00	0.05
past-lit	550.00		0.25	0.31	0.51	0.67	0.00	0.05
past-lat	25258.00		0.14	2.25	0.75	0.67	0.00	0.05
past-pod	8711.00		0.10	0.89	1.08	0.67	0.00	0.05
past-arei	19985.00		0.10	2.25	1.08	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.54	1.08	0.67	0.50	0.50
CS	285.00							
CI	681.00							
CB	6700.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 5				!Fazenda Tombador				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	2085.00	0.18	0.63	0.40	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19316.00	0.10	1.21	0.58	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	7400.00	0.06	1.65	0.93	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	4827.00	0.06	1.65	0.93	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	5414.00	0.10	1.65	0.93	0.67	0.00	0.05	
past-lit	1000.00	0.21	0.63	0.40	0.67	0.00	0.05	
past-lat	13453.00	0.12	1.65	0.58	0.67	0.00	0.05	
past-pod	5500.00	0.08	1.65	0.85	0.67	0.00	0.05	
past-arei	13059.00	0.08	1.65	0.85	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	1.52	0.85	0.67	0.50	0.50	
CS	264.00							
CI	245.00							
CB	4100.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 6				!Foz do Juruena				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1041.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-lit	767.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-arei	9960.00	0.00	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50	
CS	183.00							
CI	334.00							
CB	4900.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 7				!Fazenda Taua				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	970.00	0.19	0.49	0.21	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19984.00	0.10	0.87	0.30	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	7570.00	0.06	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	13024.00	0.06	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	8944.00	0.10	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
past-lit	358.00	0.21	0.49	0.21	0.67	0.00	0.05	
past-lat	11205.00	0.13	1.30	0.30	0.67	0.00	0.05	
past-pod	2412.00	0.08	1.30	0.44	0.67	0.00	0.05	
past-arei	13230.00	0.08	1.30	0.44	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.10	0.44	0.67	0.50	0.50	
CS	183.00							
CI	671.00							
CB	3500.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 8				!Porto dos Gauchos				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	970.00	0.19	0.49	0.21	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19984.00	0.10	0.87	0.30	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	7570.00	0.06	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	13024.00	0.06	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	8944.00	0.10	1.30	0.49	0.67	0.00	0.05	
past-lit	358.00	0.21	0.49	0.21	0.67	0.00	0.05	
past-lat	11205.00	0.13	1.30	0.30	0.67	0.00	0.05	
past-pod	2412.00	0.08	1.30	0.44	0.67	0.00	0.05	
past-arei	13230.00	0.08	1.30	0.44	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.10	0.44	0.67	0.50	0.50	
CS	183.00							
CI	671.00							
CB	3000.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 9				!Rio dos Peixes				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1173.00	0.12	0.08	0.23	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	18448.00	0.06	0.14	0.33	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	11968.00	0.04	0.20	0.53	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	9792.00	0.04	0.20	0.53	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	10416.00	0.06	0.20	0.53	0.67	0.00	0.05	
past-lit	870.00	0.13	0.08	0.23	0.67	0.00	0.05	
past-lat	7872.00	0.08	0.20	0.33	0.67	0.00	0.05	
past-pod	9536.00	0.05	0.20	0.48	0.67	0.00	0.05	
past-arei	12368.00	0.05	0.20	0.48	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.15	0.48	0.67	0.50	0.50	
CS	273.00							
CI	1193.00							
CB	1600.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 10				!Rio Arinos				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	748.00	0.15	0.09	0.21	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	19600.00	0.08	0.16	0.30	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19968.00	0.05	0.23	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	10352.00	0.05	0.23	0.49	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	9165.00	0.08	0.23	0.49	0.67	0.00	0.05	
past-lit	586.00	0.16	0.09	0.21	0.67	0.00	0.05	
past-lat	17355.00	0.10	0.23	0.30	0.67	0.00	0.05	
past-pod	18720.00	0.06	0.23	0.44	0.67	0.00	0.05	
past-arei	12225.00	0.06	0.23	0.44	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.17	0.44	0.67	0.50	0.50	
CS	275.00							
CI	867.00							
CB	2300.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 11				!Foz do Juruena				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	837.00	0.19	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	7920.00	0.10	0.03	0.14	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	19760.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	15632.00	0.06	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	14295.00	0.10	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-lit	598.00	0.22	0.02	0.07	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9645.00	0.13	0.03	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-pod	12345.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-arei	9960.00	0.09	0.05	0.19	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.05	0.19	0.67	0.50	0.50	
CS	183.00							
CI	334.00							
CB	2800.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

Bacia 12				!Lucas do Rio Verde				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	1096.00	0.16	0.27	0.81	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	8000.00	0.09	0.51	1.17	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	8864.00	0.05	0.73	1.89	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	6825.00	0.05	0.73	1.89	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	12389.00	0.09	0.73	1.89	0.67	0.00	0.05	
past-lit	500.00	0.18	0.27	0.81	0.67	0.00	0.05	
past-lat	15580.00	0.11	0.73	1.17	0.67	0.00	0.05	
past-pod	2865.00	0.07	0.73	1.71	0.67	0.00	0.05	
past-arei	8246.00	0.07	0.73	1.71	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.68	1.71	0.67	0.50	0.50	
CS	270.00							
CI	811.00							
CB	3400.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 13				!Porto Roncador			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	593.00	0.38	0.05	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-lat	4204.00	0.21	0.10	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-pod	10169.00	0.12	0.13	0.35	0.67	0.00	0.05
flo-areia	13007.00	0.12	0.13	0.35	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9523.00	0.21	0.13	0.35	0.67	0.00	0.05
past-lit	602.00	0.42	0.05	0.14	0.67	0.00	0.05
past-lat	1145.00	0.25	0.10	0.21	0.67	0.00	0.05
past-pod	6287.00	0.16	0.13	0.35	0.67	0.00	0.05
past-arei	13597.00	0.16	0.13	0.35	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.12	0.35	0.67	0.50	0.50
CS	120.00						
CI	1438.00						
CB	1600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 14				!Teles Pires			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	540.00	0.22	0.14	3.68	0.67	0.00	0.05
flo-lat	8108.00	0.17	1.00	5.30	0.67	0.00	0.05
flo-pod	12000.00	0.14	1.17	8.55	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16440.00	0.14	1.17	8.55	0.67	0.00	0.05
flo-hid	15564.00	0.17	1.17	8.55	0.67	0.00	0.05
past-lit	540.00	0.23	0.14	3.68	0.67	0.00	0.05
past-lat	12988.00	0.15	1.00	5.30	0.67	0.00	0.05
past-pod	8000.00	0.15	1.17	5.30	0.67	0.00	0.05
past-arei	13870.00	0.15	1.17	5.30	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.17	5.30	0.67	0.50	0.50
CS	23.00						
CI	966.00						
CB	1750.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 15				!Cachoeirao			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.86	0.11	0.73	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19248.00	0.67	0.82	1.05	0.67	0.00	0.05
flo-pod	5280.00	0.55	0.97	1.69	0.67	0.00	0.05
flo-areia	15152.00	0.55	0.97	1.69	0.67	0.00	0.05
flo-hid	11600.00	0.67	0.97	1.69	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.90	0.11	0.73	0.67	0.00	0.05
past-lat	18000.00	0.60	0.82	1.05	0.67	0.00	0.05
past-pod	1460.00	0.60	0.97	1.53	0.67	0.00	0.05
past-arei	13365.00	0.60	0.97	1.53	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.97	1.53	0.67	0.50	0.50
CS	482.00						
CI	804.00						
CB	2600.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

Bacia 16				!Fazenda Tratex			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1109.00	0.38	0.14	2.60	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19520.00	0.29	0.02	3.75	0.67	0.00	0.05
flo-pod	4410.00	0.24	1.21	6.04	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6121.00	0.25	1.21	6.04	0.67	0.00	0.05
flo-hid	7734.00	0.29	1.21	6.04	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.40	0.14	2.60	0.67	0.00	0.05
past-lat	3760.00	0.26	0.02	3.75	0.67	0.00	0.05
past-pod	650.00	0.26	1.21	5.47	0.67	0.00	0.05
past-arei	2312.00	0.26	1.21	5.47	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	1.21	5.47	0.67	0.50	0.50
CS	77.00						
CI	1877.00						
CB	2500.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 17

	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1568.00		0.05	0.04	0.30	0.67	0.00	0.05
flo-lat	12944.00		0.04	0.01	0.44	0.67	0.00	0.05
flo-pod	16208.00		0.03	0.31	0.71	0.67	0.00	0.05
flo-areia	16096.00		0.03	0.31	0.71	0.67	0.00	0.05
flo-hid	11856.00		0.04	0.31	0.71	0.67	0.00	0.05
past-lit	1661.00		0.05	0.04	0.30	0.67	0.00	0.05
past-lat	14220.00		0.03	0.01	0.44	0.67	0.00	0.05
past-pod	17475.00		0.03	0.31	0.64	0.67	0.00	0.05
past-arei	15015.00		0.03	0.31	0.64	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.31	0.64	0.67	0.50	0.50
CS	208.00							
CI	581.00							
CB	2100.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

!INDECO

Bacia 18

	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	873.00		0.31	0.01	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00		0.16	0.03	0.11	0.67	0.00	0.05
flo-pod	20000.00		0.16	0.03	0.18	0.67	0.00	0.05
flo-areia	2000.00		0.10	0.10	0.18	0.67	0.00	0.05
flo-hid	2000.00		0.10	0.10	0.18	0.67	0.00	0.05
past-lit	1244.00		0.33	0.01	0.08	0.67	0.00	0.05
past-lat	10800.00		0.17	0.03	0.11	0.67	0.00	0.05
past-pod	20000.00		0.16	0.03	0.16	0.67	0.00	0.05
past-arei	1500.00		0.11	0.10	0.16	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.10	0.16	0.67	0.50	0.50
CS	474.00							
CI	520.00							
CB	800.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

!Estrada Cuiaba

Bacia 19

	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	471.00		0.25	0.01	0.06	0.67	0.00	0.05
flo-lat	1000.00		0.12	0.07	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19664.00		0.06	0.07	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-areia	19776.00		0.06	0.18	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-hid	2000.00		0.12	0.18	0.13	0.67	0.00	0.05
past-lit	429.00		0.25	0.01	0.06	0.67	0.00	0.05
past-lat	1000.00		0.16	0.07	0.08	0.67	0.00	0.05
past-pod	19696.00		0.06	0.07	0.12	0.67	0.00	0.05
past-arei	19568.00		0.06	0.18	0.12	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.18	0.12	0.67	0.50	0.50
CS	201.00							
CI	318.00							
CB	1000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

!Cachimbo

Bacia 20

	uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	9999.00		0.58	0.05	1.31	0.67	0.00	0.05
flo-lat	9999.00		0.28	0.10	1.89	0.67	0.00	0.05
flo-pod	13833.00		0.14	0.14	2.97	0.67	0.00	0.05
flo-areia	17250.00		0.14	0.14	2.97	0.67	0.00	0.05
flo-hid	9999.00		0.28	0.14	2.97	0.67	0.00	0.05
past-lit	9999.00		0.58	0.05	1.31	0.67	0.00	0.05
past-lat	9999.00		0.37	0.14	1.89	0.67	0.00	0.05
past-pod	11583.00		0.16	0.14	2.68	0.67	0.00	0.05
past-arei	18290.00		0.16	0.14	2.68	0.67	0.00	0.05
agua	0.00		0.10	0.13	2.68	0.67	0.50	0.50
CS	216.00							
CI	1653.00							
CB	2000.00							
QB_M3/SKM2	0.00							

!Base do cachimbo

Bacia 21				!Jusante foz Peixoto			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	335.00	2.33	0.08	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-lat	15488.00	1.13	0.17	0.20	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19392.00	0.56	0.24	0.31	0.67	0.00	0.05
flo-areia	18560.00	0.56	0.24	0.31	0.67	0.00	0.05
flo-hid	16304.00	1.13	0.24	0.31	0.67	0.00	0.05
past-lit	673.00	2.33	0.08	0.14	0.67	0.00	0.05
past-lat	15435.00	1.49	0.24	0.20	0.67	0.00	0.05
past-pod	18060.00	0.64	0.24	0.28	0.67	0.00	0.05
past-arei	18495.00	0.64	0.25	0.28	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.24	0.28	0.67	0.50	0.50
CS	308.00						
CI	669.00						
CB	1850.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 22				!Santa Rosa			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	458.00	0.60	0.03	0.23	0.67	0.00	0.05
flo-lat	13136.00	0.29	0.07	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-pod	18432.00	0.15	0.10	0.50	0.67	0.00	0.05
flo-areia	18928.00	0.15	0.10	0.50	0.67	0.00	0.05
flo-hid	8768.00	0.29	0.10	0.50	0.67	0.00	0.05
past-lit	404.00	0.60	0.03	0.23	0.67	0.00	0.05
past-lat	9270.00	0.39	0.10	0.32	0.67	0.00	0.05
past-pod	10575.00	0.17	0.10	0.45	0.67	0.00	0.05
past-arei	6600.00	0.17	0.10	0.45	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.10	0.45	0.67	0.50	0.50
CS	267.00						
CI	710.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 23				!Tres Marias			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	253.00	0.07	0.16	5.96	0.67	0.00	0.05
flo-lat	540.00	0.03	0.32	8.30	0.67	0.00	0.05
flo-pod	2903.00	0.02	0.48	12.97	0.67	0.00	0.05
flo-areia	891.00	0.02	0.56	12.97	0.67	0.00	0.05
flo-hid	3324.00	0.03	0.56	12.97	0.67	0.00	0.05
past-lit	410.00	0.07	0.16	5.96	0.67	0.00	0.05
past-lat	155.00	0.05	0.32	8.30	0.67	0.00	0.05
past-pod	797.00	0.02	0.48	11.67	0.67	0.00	0.05
past-areia	414.00	0.02	0.56	11.67	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.56	11.67	0.67	0.50	0.50
CS	62.00						
CI	392.00						
CB	1900.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 24				!Barra do S Manuel			
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	481.00	0.87	0.06	0.32	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19520.00	0.42	0.13	0.45	0.67	0.00	0.05
flo-pod	7552.00	0.22	0.19	0.70	0.67	0.00	0.05
flo-areia	9616.00	0.22	0.22	0.70	0.67	0.00	0.05
flo-hid	14580.00	0.42	0.22	0.70	0.67	0.00	0.05
past-lit	543.00	0.87	0.06	0.32	0.67	0.00	0.05
past-lat	14895.00	0.56	0.13	0.45	0.67	0.00	0.05
past-pod	9390.00	0.25	0.19	0.63	0.67	0.00	0.05
past-arei	13305.00	0.25	0.22	0.63	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.22	0.63	0.67	0.50	0.50
CS	160.00						
CI	693.00						
CB	2200.00						
QB_M3/SKM2	0.00						

Bacia 25

				!Missao Cururu				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	648.00	0.27	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	4631.00	0.21	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	5439.00	0.17	0.19	0.12	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	16698.00	0.18	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	8683.00	0.21	0.20	0.12	0.67	0.00	0.05	
past-lit	547.00	0.29	0.01	0.05	0.67	0.00	0.05	
past-lat	7969.00	0.19	0.04	0.08	0.67	0.00	0.05	
past-pod	4346.00	0.19	0.19	0.11	0.67	0.00	0.05	
past-arei	7492.00	0.19	0.20	0.11	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.19	0.11	0.67	0.50	0.50	
CS	218.00							
CI	494.00							
CB	970.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 26

				!Fortaleza				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	764.00	1.31	0.04	0.18	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	14832.00	1.09	0.09	0.26	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	10720.00	0.87	0.12	0.41	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	5856.00	0.87	0.12	0.41	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	8730.00	1.09	0.12	0.41	0.67	0.00	0.05	
past-lit	535.00	1.41	0.04	0.18	0.67	0.00	0.05	
past-lat	9735.00	0.98	0.12	0.26	0.67	0.00	0.05	
past-pod	13650.00	0.98	0.12	0.37	0.67	0.00	0.05	
past-arei	13725.00	0.98	0.12	0.37	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.12	0.37	0.67	0.50	0.50	
CS	237.00							
CI	503.00							
CB	2050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 27

				!CrepORIZAO				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	934.00	0.19	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	8000.00	0.15	0.06	0.10	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	15884.00	0.12	0.09	0.17	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	9250.00	0.13	0.09	0.17	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	9497.00	0.15	0.09	0.17	0.67	0.00	0.05	
past-lit	460.00	0.20	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05	
past-lat	8984.00	0.13	0.09	0.10	0.67	0.00	0.05	
past-pod	6396.00	0.13	0.09	0.15	0.67	0.00	0.05	
past-arei	12064.00	0.13	0.09	0.15	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.09	0.15	0.67	0.50	0.50	
CS	198.00							
CI	538.00							
CB	1050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 28

				!Jatoba				
uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
flo-roc	752.00	0.18	0.10	0.19	0.67	0.00	0.05	
flo-lat	20000.00	0.15	0.22	0.27	0.67	0.00	0.05	
flo-pod	13776.00	0.12	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05	
flo-areia	19248.00	0.12	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05	
flo-hid	10110.00	0.15	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05	
past-lit	442.00	0.20	0.10	0.19	0.67	0.00	0.05	
past-lat	18645.00	0.14	0.29	0.27	0.67	0.00	0.05	
past-pod	11820.00	0.14	0.29	0.38	0.67	0.00	0.05	
past-arei	6885.00	0.14	0.29	0.38	0.67	0.00	0.05	
agua	0.00	0.10	0.29	0.38	0.67	0.50	0.50	
CS	278.00							
CI	530.00							
CB	2050.00							
QB_M3/SKM2	0.01							

Bacia 29

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	752.00	0.18	0.10	0.19	0.67	0.00	0.05
flo-lat	20000.00	0.15	0.22	0.27	0.67	0.00	0.05
flo-pod	13776.00	0.12	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05
flo-areia	19248.00	0.12	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10110.00	0.15	0.29	0.43	0.67	0.00	0.05
past-lit	442.00	0.20	0.10	0.19	0.67	0.00	0.05
past-lat	18645.00	0.14	0.29	0.27	0.67	0.00	0.05
past-pod	11820.00	0.14	0.29	0.38	0.67	0.00	0.05
past-arei	6885.00	0.14	0.29	0.38	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.29	0.38	0.67	0.50	0.50
CS	278.00						
CI	530.00						
CB	2050.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Acara do Tapajos

Bacia 30

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1030.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
flo-lat	14400.00	0.11	0.06	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19936.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11168.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10110.00	0.11	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
past-lit	556.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
past-lat	8835.00	0.10	0.08	0.08	0.67	0.00	0.05
past-pod	12225.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
past-arei	10710.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.50	0.50
CS	190.00						
CI	727.00						
CB	700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Travessao/Garimpo

Bacia 31

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1030.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
flo-lat	14400.00	0.11	0.06	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19936.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11168.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10110.00	0.11	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
past-lit	556.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
past-lat	8835.00	0.10	0.08	0.08	0.67	0.00	0.05
past-pod	12225.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
past-arei	10710.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.50	0.50
CS	190.00						
CI	727.00						
CB	800.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Novo Progresso

Bacia 32

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	1030.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
flo-lat	14400.00	0.11	0.06	0.08	0.67	0.00	0.05
flo-pod	19936.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11168.00	0.10	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
flo-hid	10110.00	0.11	0.08	0.13	0.67	0.00	0.05
past-lit	556.00	0.15	0.03	0.06	0.67	0.00	0.05
past-lat	8835.00	0.10	0.08	0.08	0.67	0.00	0.05
past-pod	12225.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
past-arei	10710.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.08	0.12	0.67	0.50	0.50
CS	190.00						
CI	727.00						
CB	740.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Jardim do Ouro

Bacia 33

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	313.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19760.00	0.37	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	20000.00	0.20	0.16	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11472.00	0.20	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6375.00	0.37	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
past-lit	631.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
past-lat	12150.00	0.50	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
past-pod	9765.00	0.22	0.16	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	10470.00	0.22	0.19	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	59.00						
CI	951.00						
CB	740.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Jardim do Ouro

Bacia 34

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	313.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19760.00	0.37	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	20000.00	0.20	0.16	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11472.00	0.20	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6375.00	0.37	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
past-lit	631.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
past-lat	12150.00	0.50	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
past-pod	9765.00	0.22	0.16	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	10470.00	0.22	0.19	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	59.00						
CI	951.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Itaituba

Bacia 35

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	809.00	0.30	0.12	0.62	0.67	0.00	0.05
flo-lat	6251.00	0.23	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05
flo-pod	4198.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
flo-areia	6000.00	0.19	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6000.00	0.23	0.29	1.45	0.67	0.00	0.05
past-lit	500.00	0.32	0.12	1.45	0.67	0.00	0.05
past-lat	1914.00	0.21	0.25	0.88	0.67	0.00	0.05
past-pod	1453.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05
past-areia	4000.00	0.21	0.29	1.28	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.29	1.28	0.67	0.50	0.50
CS	58.00						
CI	723.00						
CB	1320.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Fazenda Goiano

Bacia 36

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
flo-roc	313.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
flo-lat	19760.00	0.37	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
flo-pod	20000.00	0.20	0.16	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-areia	11472.00	0.20	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
flo-hid	6375.00	0.37	0.19	0.21	0.67	0.00	0.05
past-lit	631.00	0.77	0.05	0.10	0.67	0.00	0.05
past-lat	12150.00	0.50	0.11	0.14	0.67	0.00	0.05
past-pod	9765.00	0.22	0.16	0.19	0.67	0.00	0.05
past-arei	10470.00	0.22	0.19	0.19	0.67	0.00	0.05
agua	0.00	0.10	0.19	0.19	0.67	0.50	0.50
CS	59.00						
CI	951.00						
CB	1700.00						
QB_M3/SKM2	0.01						

!Foz no amazonas

**ANEXO 10 – CÓDIGO-FONTE DO
PROGRAMA PARA LEITURA DE
DADOS DO TRMM**

```

% este programa descompacta os arquivos do produto 3B42 do TRMM, lê os
% arquivos HDF, extrai as taxas de precipitação sobre a área quadrada na
% qual se insere a bacia e escreve as precipitações em arquivos .txt cujo
% nome é a coordenada do centro da célula de 0.25° para o qual a estimativa
% é válida, sem ponto e com duas casas arredondadas para baixo.
% Exemplo: se os limites em x da célula são -50.0 e -49.75 e em y, -20.5
% e -20.25, o nome do arquivo é 49872012.txt
% Necessita o Winzip32 dentro do diretório. Necessita um add-on do winzip
% para permitir a introdução de linhas de comando externas ao winzip
% Escrito por Bruno Collischonn em maio de 2005
clear
% entra com os limites geográficos da área (atenção: múltiplos de 0.25°)
xmin=-60.5;
xmax=-52.75;
ymin=-2.25;
% entra com a data de início da extração dos dados
ymax=-0.25;
dia_in=1;
mes_in=1;
ano_in=1998; %com 4 algarismos.
dia_fim=31;
mes_fim=12;
ano_fim=2004; %com 4 algarismos
%aqui converte para colunas e linhas do TRMM (cresce de W para E e de S
%para N, a partir de 50°S e 180°W, com pixel de 0.25°)
cmin=(xmin+180)/.25+1;
cmax=(xmax+180)/.25;
lmin=(ymin+50)/.25+1;
lmax=(ymax+50)/.25;
num_in=datenum(ano_in,mes_in,dia_in);
num_fim=datenum(ano_fim,mes_fim,dia_fim);
nt=num_fim-num_in+1;
%define o tamanho da matriz
chst=zeros(cmax-cmin+1,lmax-lmin+1);
for i=1:nt
    dia(i)=day(num_in+i-1);
    mes(i)=month(num_in+i-1);
    ano(i)=year(num_in+i-1);
    !erase *.hdf
    % prepara o string para ler o arquivo zipado
    str_ano=num2str(year(i+num_in-1));
    str_mes=num2str(month(i+num_in-1)+100);
    str_dia=num2str(day(i+num_in-1)+100);
    %extrai e escreve os valores dos arquivos hora 0 até hora 9
    for j=1:4
        abre_arq(j,:)=['!winzip32.exe -e 3B42.' str_ano(3:4) str_mes(2:3)
str_dia(2:3) '.' num2str(3*j-3) '.6.HDF.Z '];
        eval(abre_arq(j,:));
        a=hdfread(abre_arq(j,18:36),'precipitation');
        for l=lmin:lmax
            lat=l*0.25-50.125;
            for c=cmin:cmax
                long=c*0.25-180.125;
                % troca o valor de falha do TRMM para falha do MGB
                if a(c,l)<0
                    a(c,l)=-1;
                else
                    % integra a precipitação para acumulado de 3 horas
                    a(c,l)=3*a(c,l);
                end
                % se for escrever o primeiro valor, cria o arquivo, senão

```



```

        %abre e escreve a partir do último valor
        if (i==1) & (j==1)
            nome=[num2str(floor(abs(100*long)))
num2str(floor(abs(100*lat))) '.txt'];
            fid=fopen(nome, 'wt');
            fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i), ano(i),
a(c,l));
            fclose(fid);
        else
            nome=[num2str(floor(abs(100*long)))
num2str(floor(abs(100*lat))) '.txt'];
            fid=fopen(nome, 'at');
            fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i), ano(i),
a(c,l));
            fclose(fid);
        end
    end
end
end
end
%extrai e escreve os valores dos arquivos hora 12 até hora 21
for j=5:8
    abre_arq(j,:)=['!winzip32.exe -e 3B42.' str_ano(3:4) str_mes(2:3)
str_dia(2:3) '.' num2str(3*j-3) '.6.HDF.Z'];
    eval(abre_arq(j,:));
    a=hdfread(abre_arq(j,18:37),'precipitation');
    for l=lmin:lmax
        lat=l*0.25-50.125;
        for c=cmin:cmax
            if a(c,l)<0
                a(c,l)=-1;
            else
                a(c,l)=3*a(c,l);
            end
            long=c*0.25-180.125;
            nome=[num2str(floor(abs(100*long))) num2str(floor(abs(100*lat)))
'.txt'];
            fid=fopen(nome, 'at');
            fprintf(fid, '%6d %5d %5d %11.2f\n', dia(i), mes(i), ano(i),
a(c,l));
            fclose(fid);
        end
    end
end
end
end
end
end

```